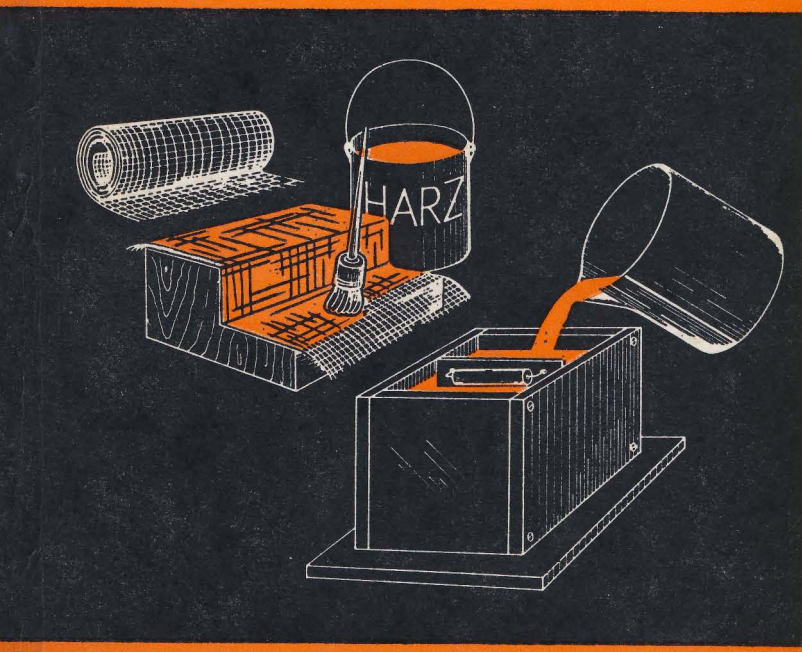
amateurreihe

electronica



Wolfgang Ludeck

195

Kleben, Gießen, Laminieren in der Amateurtechnik

electronica · Band 195

WOLFGANG LUDECK

Kleben, Gießen, Laminieren in der Amateurtechnik

MILITÄRVERLAG
DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN
REPUBLIK

1. Auflage, 1981
© Militärverlag der
Deutschen Demokratischen Republik (VEB) — Berlin, 1981
Lizenz-Nr. 5 · LSV: 3639
Lektor: Dipl.-Phys. Hans-Joachim Mönig
Zeichnungen: Gudrun Maraun, Eva Ludeck
Typografie: Helmut Herrmann
Printed in the German Democratic Republic
Gesamtherstellung: Druckerei Märkische Volksstimme Potsdam
Redaktionsschluß: 20. März 1981
Bestellnummer: 746 313 3
DDR 1,90 M

Inhaltsverzeichnis

Vorwort		7
1.	**Klebstoffe**	8
1.1.	Epoxidharze	8
1.1.1.	Epasol EP 11	8
1.1.2.	Epasol EP 2	10
1.1.3.	Epasol EP 30	11
1.1.4.	Epilox EK 10	13
1.1.5.	Eigenschaften der mit Epoxidharzen hergestellten Klebverbindungen	14
1.2.	Polyester	15
1.2.1.	Mökodur L 5001	16
1.2.2.	Hobby-Plast	16
1.3.	Acrylate	16
1.3.1.	Kalloplast R	17
1.3.2.	Piaflex LT 30	17
1.4.	Siliconkautschuk	18
1.5.	Polyvinylacetat	20
1.5.1.	Berliner Holzkaltleim, Brauns PVAc-Leime Typ „0", „L" und „S", Dispersionskitt L 58 S, Pelasal 136 G	20
1.5.2.	Reinalit	21
1.5.3.	Mökoflex L 2837	22
1.6.	Polyvinylchlorid	22
1.7.	Cellulosenitrat	23
1.8.	Klebstoffe auf Basis von Kautschuken	24
1.8.1.	Chemisol L 1100	24
1.8.2.	Chemisol L 1300 bis 1399	25
1.8.3.	Chemisol L 1403	25
1.8.4.	Chemisol L 1503 und L 1504 und Chemical-Klebstoff	26
1.9.	Polystyrol-Klebstoffe	26
1.10.	Sulfitablauge, Fußbodenklebstoff Blausiegel	27
1.11.	Sonstige Klebstoffe	27
2.	**Gieß- und Laminierharze**	28
2.1.	Epoxidharze	28

2.1.1. Epilox EGK 19 28
2.1.2. Epilox EG 34 31
2.1.3. Epilox EGK 54 34
2.1.4. Epilox EGK 106 34
2.1.5. Epasol EP 9 35
2.1.6. Epasol SP 2 35
2.2. Polyesterharze 36
2.2.1. UP-AS 2333 (alte Bezeichnung Polyester G) 36
2.2.2. Hobby-Plast 39
2.2.3. UP-AS 2311 (alte Bezeichnung Polyester GM) 40
2.2.4. UP-AS 2324 (alte Bezeichnung Polyester GG) 40
2.3. Polyesterharze im Vergleich mit Epoxidharzen 41

3. Modifizierung von Klebstoffen, Gieß- und Laminierharzen 42
3.1. Verdünnungsmittel für Klebstoffe 42
3.2. Füllstoffe 42
3.3. Farbstoffe 44

4. Klebtechnik 47
4.1. Kriterien zur Klebstoffauswahl 47
4.2. Oberflächenbehandlungen 48
4.3. Werkstofftypische Hinweise 51
4.3.1. Metalle 51
4.3.2. Plaste 52
4.3.3. Holz 52
4.3.4. Glas 53
4.4. Ursachen für Fehlklebungen 53
4.5. Hinweise für klebgerechte Konstruktionen 54

5. Gießtechnik 61
5.1. Kriterien zur Gießharzauswahl 61
5.2. Gestaltung zu gießender Formteile 62
5.2.1. Allgemeine Hinweise 63
5.2.2. Neigungen 63
5.2.3. Hinterschneidungen 64
5.2.4. Abrundungen 64
5.2.5. Löcher, Schlitze, Durchbrüche, Aussparungen 66
5.2.6. Einbetten von Metallteilen 66
5.3. Werkstoffe für den Werkzeugbau 67

5.3.1. Metalle ... 68
5.3.2. Holz ... 68
5.3.3. Gips ... 69
5.3.4. Epoxid- und Polyesterharze ... 70
5.3.5. Siliconkautschuk ... 73
5.3.6. PVC-Pasten ... 75
5.4. Werkzeugaufbau ... 76
5.5. Trennmittel ... 78
5.6. Technologie des Gießens ... 79
5.7. Entformen gegossener Körper ... 81
5.8. Nachbearbeiten von gegossenen Körpern ... 81

6. Laminiertechnik ... 83
6.1. Verstärkungsmaterialien für Laminate ... 83
6.1.1. Glasfasergewebe ... 84
6.1.1.1. Rovinggewebe ... 84
6.1.1.2. Glasseidentwistgewebe ... 86
6.1.1.3. Glasseidenzwirngewebe ... 88
6.1.2. Glasseidenmatten ... 89
6.1.3. Sonstige Verstärkungsmittel ... 90
6.2. Zur Auswahl des Verstärkungsmittels ... 90
6.3. Probleme der Haftung zwischen Laminierharz und Trägerwerkstoff ... 91
6.4. Abhängigkeit der Eigenschaften vom Glasgehalt ... 93
6.5. Konstruktive Hinweise ... 96
6.5.1. Ränder ... 96
6.5.2. Kanten und Ecken ... 97
6.5.3. Flächenversteifungen bei großen Laminaten ... 98
6.5.4. Öffnungen, Durchbrüche ... 99
6.5.5. Krafteinleitung in Laminate ... 100
6.5.6. Verbindungen ... 100
6.5.7. Dimensionierung von Bauteilen ... 103
6.6. Formenbau in der Laminiertechnik ... 105
6.7. Trennmittel ... 106
6.8. Das Handauflegeverfahren ... 106
6.9. Die Herstellung von Laminaten mit einteiligen Formen ... 107
6.10. Entformung ... 108
6.11. Nachbearbeitung ... 108

7. Arbeitsschutz 110
7.1. Lösungsmittel und lösungsmittelhaltige Klebstoffe 110
7.2. Epoxidharze und Härter 111
7.3. Polyester und Polyacrylate 111

8. Klebtabellen 113

Literaturverzeichnis 115

Vorwort

Auf Grund der starken Nachfrage der 1975 erschienenen *electronica*-Broschüren über das Kleben (Band 145), Gießen (Band 146) und Laminieren (Band 147) in der Amateurtechnik wurde diese zusammenfassende Darstellung herausgegeben. Dabei ist es nicht möglich, in der gleichen Ausführlichkeit wie in den vorher genannten Broschüren auf einige Probleme einzugehen, so daß in diesem Zusammenhang auf die Fachliteratur verwiesen werden muß ([1] bis [8]).

Das Ziel der Broschüre ist, den interessierten Leser mit den wichtigsten Rohstoffen, einigen technologischen Fragen sowie über Hinweise zum Arbeitsschutz zu informieren. Darüber hinaus werden einige Möglichkeiten zur Modifizierung von Grundharzen genannt.

Der Autor hofft, einen kleinen Einblick in dieses moderne Gebiet industrieller Fertigung zu geben, das dem Amateur und dem Nichtfachmann viele Möglichkeiten zu eigenschöpferischer Tätigkeit bietet.

Berlin, im Herbst 1980

Wolfgang Ludeck

1. Klebstoffe

Es gibt derzeit in der DDR eine sehr große Anzahl verschiedener Klebstoffe. Leider werden dabei für Klebstoffe gleicher Basis die unterschiedlichsten Namen und Begriffe benutzt. Diese Erscheinung fällt dann besonders auf, wenn man sich das Sortiment verschiedener Bezirke ansieht. In den nachfolgenden Betrachtungen sind die Klebstoffe nach der chemischen Bezeichnung ihrer Rohstoffgrundlage geordnet.

1.1. Epoxidharze

Epoxidharze werden in unvernetzter Form als Klebstoff angewendet. Da man mit diesen Produkten sehr vielseitige Klebungen ausführen kann und auch gute Festigkeiten erzielt, werden unterschiedliche Sorten angeboten. Für den Bevölkerungsbedarf wird von Fachgeschäften der Typ *Epasol EP 11* angeboten. Da aber sowohl Arbeitsgemeinschaften in Betrieben als auch Sportgemeinschaften andere Sorten beziehen, soll hier auf die wichtigsten Arten eingegangen werden.
Epoxidharze sind zähflüssige bis feste Produkte, die sowohl Epoxid- als auch OH-Gruppen enthalten, mit denen sie u. a. mit Polyaminen bzw. Säureanhydriden reagieren können. Wegen ihres unterschiedlichen Aufbaus und durch die Auswahl verschiedener Härter erhält man eine außerordentlich große Variationsbreite der Eigenschaften. Sie zählen zu den vielseitigsten und wandelbarsten Klebstoffen überhaupt.
Der größte Nachteil dieser Produkte liegt in ihrer stark gesundheitsschädigenden Wirkung bei unsachgemäßem Umgang. Für die anwendende Industrie sind die Verhaltensmaßregeln in der TGL 36 425 zusammengefaßt. Bevor man also mit diesen Produkten umgeht, empfiehlt es sich, den Abschnitt 7. über den Arbeitsschutz gewissenhaft zu studieren.

1.1.1. Epasol EP 11

Epasol EP 11 ist ein Zweikomponentenklebstoff von mittel-

viskoser Konsistenz. Er ist mit Füllstoffen angereichert und von weißer Farbe. Wegen der Konfektionierung (Harz- und Härtertube je 30 g) ist der Klebstoff besonders für den Kleinverbraucher geeignet.

Verarbeitung

Nachdem die Oberflächen der zu klebenden Teile vorbereitet und vorbehandelt worden sind, ist der Klebstoff anzurühren. Da das Mischungsverhältnis 1:1 beträgt (± 10%), wird aus der Harz- und Härtertube je ein Strang gleicher Länge auf eine Fliese, Glas- oder Plastplatte parallel zueinander herausgedrückt.

Zum Mischen wird zweckmäßig ein flacher Spatel genommen, der entweder gekauft oder selbst aus Plaste oder Blech angefertigt ist. Die verwendeten Hilfsmittel und -werkzeuge müssen sauber und trocken sein. Innerhalb der Gebrauchsdauer von 60 Minuten (für einen 30-g-Ansatz) muß der Klebstoff verarbeitet werden. Dazu sind beide Fügeteile dünn mit dem angerührten bzw. gemischten Klebstoff einzustreichen. Nach dem Klebstoffauftrag sind die Teile zu fügen und, wenn erforderlich, zu fixieren. Ein besonderer Preßdruck ist nicht erforderlich, jedoch wirkt ein Kontaktdruck von etwa 1 kp/cm² (0,1 N/mm²) vorteilhaft auf die spätere Festigkeit. Aus der Klebfuge hervortretenden Klebstoff muß man sofort entfernen. Zur Härtung ist eine Temperatur von mindestens 15 °C erforderlich. Je höher die Temperatur, desto schneller härtet der Klebstoff, wie aus Tabelle 1.1. zu ersehen ist. Es schadet dem Klebstoff nicht, wenn die Härtungsdauer bei höherer Temperatur um 100% überschritten wird.

Anwendung

Da der *VEB Asol-Chemie* den Klebstoff so herstellt, daß der

Tabelle 1.1. Abhängigkeit der Härtungsdauer von der Temperatur bei *Epasol EP 11*

Temperatur in °C	Härtungsdauer in h
15	48
20	24
60	8
80	3
100	1

spätere Klebfilm etwas spröde ist, soll der Einsatz für dynamisch beanspruchte Klebverbindungen gründlich geprüft werden.
Die Zugscherfestigkeit einer Aluminium-Aluminium-Probe nach TGL 14 910, Bl. 1 und 2, beträgt 125 ± 25 kp/cm² (12,5 ± 2,5 N/mm²). Der Schälwiderstand ist gering. Der Klebstoff eignet sich zum Verbinden von Teilen aus Eisen, Stahl, Aluminium und anderen Metallen, Duroplasten wie Hartpapier und Hartgewebe, Porzellan, Steingut, Keramik, Beton, Glas und Holz. So können z. B. Schellen für elektrische Leitungen auf Putz, Mauerwerk oder Beton, Typenschilder auf Geräten, Distanzbuchsen an Gehäusen und vieles andere geklebt werden. *Epasol EP 11* gehört gemäß ASAO 850/1 zur Gefahrenklasse A III, d. h., es ist brennbar (mit einem Flammpunkt über 55 °C) und mit Wasser nicht mischbar. Die angegebene Haltbarkeit von 6 Monaten ist allerdings niedrig.

1.1.2. Epasol EP 2

Epasol EP 2 ist ähnlich *Epasol EP 11* ein füllstoffhaltiges Epoxidharz. Die Harzkomponente (Teil A) ist rosa, die Härterkomponente (Teil B) ist grün angefärbt. Die gehärtete Mischung hat eine graubraune Farbe mit einer Dichte von etwa 1500 kg/m³. Harz und Härter sind mittelviskos, lösungsmittelfrei und zeigen ein geringes thixotropes Verhalten. Das Mischungsverhältnis beträgt von Teil A zu Teil B 4:1. Die Gebrauchsdauer eines 100-g-Ansatzes wird bei 20 °C mit 60 Minuten angegeben. Wichtig ist, daß vor der Entnahme die Masse in den Originalgefäßen gut umgerührt wird, da die Füllstoffe zum Sedimentieren neigen. Die maximale Mischungstoleranz beträgt ± 10%. Nach dem Klebstoffauftrag auf die vorher behandelten Klebflächen erfolgt das Fügen. Dabei ist ein leichter Kontaktdruck empfehlenswert. Falls erforderlich, sollten beide Fügeteile fixiert werden, um ein Verrutschen zu vermeiden. *Epasol EP 2* ist zwar ein kalthärtendes Harz, das man aber auch warm oder heiß, ähnlich wie *Epasol EP 11*, härten kann. Nach einer Härtung von 24 Stunden bei 20 °C läßt sich die Klebstelle belasten. Die minimale Härtungstemperatur ist 15 °C. Die Zugscherfestigkeit nach TGL 14 910, Bl. 1 und 2, beträgt, an Aluminium-Probekörpern gemessen, 175 ± 35 kp/cm² (17,5 ± 3,5 N/mm²). Der Klebstoff weist einen sehr geringen Schälwiderstand auf. Der Klebstoff ist

nach der ASBAO 850/1 in die Gefahrenklasse A III einzustufen, hat also einen Flammpunkt über 55 °C. Der Harz ist in Blechdosen (je 1 kg), der Härter in Dosen (je 0,25 kg) konfektioniert. Der Hersteller garantiert eine Haltbarkeit von 6 Monaten ab Herstellungsdatum in verschlossenen Behältern bei 0 bis 20 °C. Durch den Füllstoffzusatz kann man auch etwas dickere Klebfugen mit noch guten Festigkeitswerten herstellen. Dieser Klebstoff kann zur Verbindung von Werkstoffen aus Metallen, Duroplasten, Holz oder Glas benutzt werden.

1.1.3. Epasol EP 30

Hierbei handelt es sich um ein hochviskoses, stark füllstoffhaltiges und lösungsmittelfreies Harz auf der Basis von Epoxidharzen (A-Komponente). Als Härter wird ein teermodifiziertes füllstoffhaltiges Polyamin geliefert (B-Komponente). *Epasol EP 30* wird als Kleb-, Spachtel- und Beschichtungsharz für die vielfältigsten Zwecke eingesetzt. Besonders hat sich dieser Spachtel beim Kleben von Beton (oder Mauerwerk) mit sich selbst oder mit anderen Werkstoffen wie Stahl, Aluminium, oder Duroplaste, z. B. bei Konsolen, Einsetzen von Befestigungsankern, befestigen von Halterungen für die verschiedensten Zwecke bewährt. Wegen der hohen Zähigkeit dieser Spachtelmasse ist nur bei solchen Teilen, die bei Überkopfklebungen mehr als 30 g/cm² Klebfläche und an senkrechten Flächen über 10 g/cm² Klebfläche wiegen, eine zusätzliche Fixierung erforderlich. Der hohe Füllstoffgehalt des Klebstoffs und die nicht so hohen Festigkeitsforderungen der Bauindustrie gestatten Klebfugen bis etwa 10 mm Dicke.
Vom Entwickler, der *Deutschen Bauakademie*, werden für eine einwandfreie Klebverbindung folgende Voraussetzungen gefordert [27], [28]:
— Gereinigte Klebflächen; dabei stören geringe Mengen Schalungsöl nicht, die Zementschlempe ist jedoch zu entfernen.
— Grundierung des Betons, Stahls oder sonstiger Materialien mit *EGK 19* und Härter 3. Der *VEB Asol-Chemie* stellt weitere Grundierungsmittel auf der Basis von Epoxidharzen her, die speziell für feuchten Untergrund (Grundierung F) bzw. zur Verarbeitung bei tiefen Temperaturen (Grundierung T) bis etwa — 5 °C geeignet sind:

Grundierung F = *EGK 19* + Härtergemisch F wie 100:33,5 MT,
Grundierung G = *EGK 19* + Härtergemisch T wie 100:37,5 MT.
— Beide Klebstoffkomponenten sind intensiv zu mischen. Dabei haben sich für kleinere Mengen elektrische Ständerbohrmaschinen mit geeignetem Rührer bewährt. Die Drehzahl sollte je nach Rührerform möglichst niedrig sein.

Epasol EP 30 wird in drei Varianten angeboten.

Epasol EP 30 N: Teil A: Teil B/N wie 3:1 MT
Dieser Spachtel muß bei Temperaturen über 15 °C und bei einer relativen Luftfeuchte unter 80% verarbeitet werden.

Epasol EP 30 F: Teil A: Teil B/F wie 1,5:1 bis 2:1 MT
Man kann das Gemisch bei Temperaturen über 10 °C verarbeiten. Eine feste Verbindung wird durch das weniger feuchtigkeitsempfindliche Aminopolyamid (siehe auch Abschnitt 2.1.1., *Epilox EGK 19)* bei hoher Luftfeuchte und feuchtem Beton erhalten.

Epasol EP 30 T: Teil A: Teil B/T wie 1,5:1 bis 2:1 MT
Diese Modifikation des *EP 30* härtet auch noch bei Temperaturen zwischen 0 und — 5 °C. Die Komponenten sind aber bei Zimmertemperatur zu mischen, da sonst die Zähigkeit zu groß wird. Die Härtezeit beträgt bei 15 °C für *EP 30 N* einen und für *EP 30 F* und *EP 30 T* drei Tage. Bei 0 °C braucht *EP 30 T* 14 Tage zur Härtung, kann aber schon früher gering belastet werden. Die Gebrauchsdauer eines 100-g-Ansatzes beträgt bei *EP 30 N* und

Tabelle 1.2. Garantierte Festigkeiten von mit *Epasol EP 30* geklebten Stahl-Beton-Verbindungen

Metall	Beton	Beanspruchung	Kurzzeitbruchfestigkeit in kp/cm²	in N/mm²	zulässige Spannung in kp/cm²	in N/mm²
Stahl St 38	B 225	Scherung	25	2,5	13	1,3
	B 300		30	3,0	16	1,6
	B 450		40	4,0	21	2,1
Stahl St 38	B 225	Zug	25	2,5	13	1,3
	B 300		35	3,5	19	1,9
	B 450		40	4,0	21	2,1
Stahl St 38	B 225	Biegezug	65	6,5	35	3,5
	B 300		90	9,0	48	4,8
	B 450		100	10,0	53	5,3

EP 30 T 60 Minuten und bei *EP 30 F* 120 Minuten (20 °C). Die *Deutsche Bauakademie* gibt die in Tabelle 1.2. genannten Festigkeiten an [27]. Die Festigkeiten sind nicht nur von der Klebflächenvorbereitung und -vorbehandlung abhängig, sondern werden auch in starkem Maße durch die Betongüte beeinflußt.

1.1.4. Epilox EK 10

Dieser Klebstoff ist ein gelblichweißes, den Härter enthaltendes, pulverförmiges, vorreagiertes Epoxidharz. Im Gegensatz zu allen bisher beschriebenen Produkten ist *Epilox EK 10* ein heißhärtendes Harz, das einen Erweichungspunkt über 70 °C hat. Der Klebstoff eignet sich zur Verbindung von Metallen, keramischem Material wie Porzellan, Steingut und ähnlichem, aber auch duroplastischen Werkstoffen wie Phenol- und Melaminharzen. Die erzielten Festigkeiten sind höher als bei kalthärtenden Epoxidharzen. So beträgt z. B. die Zugscherfestigkeit einer Aluminium-Aluminium-Verbindung nach TGL 14 910 zwischen 200 und 400 kp/cm² (20 und 40 N/mm²). Der Schälwiderstand, der bei kalthärtenden Harzen in der Regel sehr niedrig ist, beträgt hier etwa 2 bis 3 kp/cm, nach gleicher TGL geprüft.
Entsprechend dem besonderen Charakter dieses Klebstoffs ist auch die Technologie der Verarbeitung anders als bei kalthärtenden Harzen. Die Werkstoffoberflächen werden in der üblichen Weise vorbereitet und vorbehandelt. Danach sind die zu klebenden Teile auf 130 bis 160 °C anzuwärmen. Auf die heißen Flächen ist der Klebstoff aufzustreuen, der sofort schmilzt und die Oberfläche benetzt. Die Teile werden nun gefügt, der überschüssige

Tabelle 1.3. Abhängigkeit der Härtungsdauer von der Temperatur bei *Epilox EK 10*

Temperatur in °C	Härtungsdauer in h
130	18
150	5
160	3
180	2

Klebstoff abgewischt und die Härtung unter Kontaktdruck bei mindestens 130 °C durchgeführt.
Die Klebfugendicke sollte nach Angaben des Herstellers 0,05 bis 0,15 mm betragen. Dafür sind ungefähr 140 bis 160 g Klebstoff je m² erforderlich. Die Härtezeit ist von der Temperatur in der Klebfuge abhängig. Tabelle 1.3. gibt die Verhältnisse wieder. Es handelt sich um Minimalzeiten, die ohne Schädigung des Klebstoffs um 100% überschritten werden können. Wie die Beschreibung der Anwendung zum Ausdruck bringt, ist dieser Klebstoff technologisch schwerer zu verarbeiten und damit für den Amateur weniger geeignet.

1.1.5. Eigenschaften der mit Epoxidharzen hergestellten Klebverbindungen

Mit kalthärtenden Epoxidharzen geklebte Verbindungen sollen in der Regel nicht über 80 °C belastet werden; denn mit steigender Temperatur nimmt die Festigkeit ab. Da der Schälwiderstand

Tabelle 1.4. Chemische Beständigkeit von mit Epoxidharzen hergestellten Aluminium-Aluminium-Klebverbindungen

Medium	kalthärtend	heißhärtend
Aceton	—	+
Ammoniak 10 %ig	0	
Alkohol 10 %ig	0	+
Benzin	+	+
Benzol	+	+
Dieselöl	+	+
Essigsäure 10 %ig	0	
Formalin 30 %ig	0	
Freibewitterung	0	0
Kalilauge 10 %ig	0	
Kochsalzlösung gesättigt	0	0
Perchloräthylen	—	—
Trichloräthylen	—	—

\+ beständig
0 bedingt beständig
— unbeständig

dieser Produkte nur sehr gering ist, sind die Teile so zu konstruieren, daß eine Schälbeanspruchung weitestgehend ausgeschlossen wird. Die einfachste Maßnahme besteht darin, daß eine Zusatzschraube oder ein Hohlniet mit verwendet wird. Weitere Möglichkeiten sind aus Abschnitt 4. zu ersehen.
Mit heißhärtenden Harzen hergestellte Verbindungen können, soweit das die Fügeteile zulassen, bis etwa 140 °C belastet werden.
Problematischer ist die Frage nach der chemischen Beständigkeit von Klebstoffverbindungen. Im Gegensatz zu einem massiven gegossenen Körper sind Klebstoffilme an den Grenzflächen gegen die verschiedensten Einflüsse empfindlich. Eine Möglichkeit, solche Einflüsse zu ermitteln, besteht darin, daß man einen vorausgewählten Werkstoff klebt und die Festigkeit nach der Härtung sowie nach einer bestimmten Zeit unter Mediumeinfluß prüft. Tritt dabei nach 30 Tagen kein Festigkeitsabfall ein, kann die Verbindung gegenüber dem gewählten Medium als relativ stabil bezeichnet werden.
In Tabelle 1.4. sind die Auswirkungen chemischer und atmosphärischer Einflüsse für kalt- und heißhärtende Epoxidharze dargestellt. Als Fügeteilwerkstoff wurde ein Duraluminium gewählt. Die Angaben in dieser Tabelle sind weitestgehend von einer guten Vorbereitung und -behandlung der Klebflächen abhängig.
Ausführliches findet man dazu in der entsprechenden Literatur [2], [8], [9].

1.2. Polyester

Besonders in den letzten zwei Jahren wurden die ungesättigten Polyester in der Amateurtechnik immer häufiger angewendet.
Dabei ist ihre Bedeutung in der Gieß- und Laminiertechnik erheblich größer als in der Klebtechnik. Trotzdem werden sie wegen ihrer Klebfreudigkeit und ihres niedrigen Preises gern als Klebstoff eingesetzt.
Bei den kalthärtenden Polyestern handelt es sich eigentlich um ein Dreikomponentensystem: das eigentliche Harz, ein Peroxid und einen für die Kalthärtung erforderlichen Beschleuniger. In der Industrie und in der Amateurpraxis wird der Beschleuniger oft, wie beim *Hobby-Plast*, dem Harz bereits zugesetzt, lange bevor er verarbeitet werden soll.

1.2.1. Mökodur L 5001

Dieses Erzeugnis wird als Zweikomponentenprodukt hergestellt. Im flüssigen Harz ist der Beschleuniger enthalten. In dem pulverförmigen Härter hat der Hersteller, das *Schuhkombinat „Banner des Friedens"*, *Werk Mölkau*, den Katalysator eingemischt. Für den Verarbeiter ergibt sich dadurch ein einfaches Mischungsverhältnis Harz zu Härter wie 1:1 Masseteile. Man kann bei diesem Produkt die Härtermenge bis auf das Doppelte erhöhen, bekommt dabei aber eine kürzere Gebrauchsdauer von etwa 10 bis 15 Minuten gegenüber 45 bis 60 Minuten und eine höhere Viskosität. Der eingerührte Klebstoff wird dünn auf eine oder besser auf beide Klebflächen aufgetragen, und die Teile werden danach fixiert. Nach 24 Stunden ist der Klebstoff gehärtet.
Folgende Werkstoffe lassen sich kleben: Aluminium, Eisen, Stahl, Buntmetalle wie Zink, Kupfer, Messing, Phenoplaste, Polyester, Glakresit, Ziegelstein, Fliesen, Keramik, Natur- und Kunststein, Holz.

1.2.2. Hobby-Plast

Unter diesem Begriff ist eine Systempackung zu verstehen, die beschleunigtes Harz enthält sowie die übrigen zum Kleben, Gießen und Laminieren erforderlichen Bestandteile. Für die Klebtechnik wird neben dem Harz nur das Zyklohexanonperoxid benötigt, das in einem Anteil von 1 bis 3% zugesetzt wird. Wegen des unterschiedlichen Peroxidzusatzes ist die Gebrauchsdauer zwischen 15 und 60 Minuten je nach Erfordernis „einstellbar". Sollte sich beim Peroxid ein Bodensatz gebildet haben, ist dieser gründlich aufzurühren (eventuell Flasche in heißes Wasser stellen). Der Hersteller bzw. Lieferant von *Hobby-Plast* ist der *VEB Spezialchemie Leipzig*, der auch Broschüren über die Verarbeitung herausgegeben hat.

1.3. Acrylate

Bei den Klebstoffen auf Acrylatbasis wird zwischen chemisch reaktionsfähigen und nichtreagierenden unterschieden. Beide Arten werden hauptsächlich bei Piacryl-Verbindungen oder Klebungen zwischen Piacryl und anderen Werkstoffen angewendet.

1.3.1. Kalloplast R

Dieser Klebstoff besteht aus 2 Komponenten, einer Flüssigkeit und einem Pulver, denen ein Katalysator und Beschleuniger zugemischt worden ist. Die Grundstoffe beider Komponenten sind Ester der Methacrylsäure, die durch Polymerisation aushärten können.
Das Mischungsverhältnis beträgt 1 g Pulver zu 2 cm^3 Flüssigkeit bzw. 4 cm^3 Pulver zu 5 cm^3 Flüssigkeit. Sofort nach dem Zusammengeben beider Komponenten ist gut zu rühren. Nach 2 bis 4 Minuten Rührzeit wird das zunächst trübe Gemisch klar, und der Klebstoff ist verwendungsfähig. Die Gebrauchsdauer beträgt bei Raumtemperatur etwa 20 Minuten. Durch die exotherme Reaktion erwärmt sich die Mischung recht stark. Wird mehr von der pulverförmigen Komponente genommen, sinkt die Gebrauchsdauer. Erhöht man den Anteil der Flüssigkeit, verlängert sich diese Zeit. Eine besondere Druck- oder Temperaturanwendung ist bis auf den Kontaktdruck nicht erforderlich. Nach etwa 2 Stunden ist die Härtung so weit fortgeschritten, daß sich die Klebstelle bereits leicht belasten läßt.
Die zum Anrühren des Klebstoffs verwendeten Hilfsmittel sollen aus Polyethylen, Glas, Porzellan oder nichtrostenden bzw. -oxidierenden Metallen bestehen, um Störungen im Reaktionsablauf zu vermeiden. Besonders Kupfer und Messing können eine inhibierende Wirkung ausüben. Sowohl das Pulver als auch die Flüssigkeit sind brennbar. Letztere gehört der Gefahrklasse A I an.
Kalloplast R eignet sich zum Verbinden von Piacryl, Polystyren, Cellulosenitrat, PVC, Epoxid-, Polyester- und Phenolharzen mit Metallen und keramischen Stoffen. Die starke Schrumpfung von etwa 15 bis 20% ist zu beachten.
Benutzte Geräte mit angetrockneten Klebstoffresten lassen sich gut mit Aceton reinigen.

1.3.2. Piaflex LT 30

Piaflex LT 30 wird vom *VEB Düngemittelkombinat, Betrieb Stickstoffwerk Piesteritz,* hergestellt und ist eigentlich ein Lackrohstoff, der aber durch sein gutes Haftvermögen auf verschiedenen

Werkstoffen sehr gut als Klebstoff eingesetzt werden kann. Sollte die Viskosität zu hoch sein, ist sie leicht durch Zugabe von Aceton, Toluen oder Ethylacetat herabzusetzen.
Der Klebstoff ist auf die beiden zu klebenden Fügeteile aufzutragen, kurz abdunsten zu lassen (etwa 1 Minute), und anschließend sind die Fügeteile zu fixieren. Es ist für einen guten Kontaktdruck zu sorgen. Neben Piacryl kann man mit diesem Klebstoff auch PVC, Polystyren und mit geringer Haftung auch Metalle und Duroplaste kleben.

1.4. Siliconkautschuk

In der Industrie ist es seit langem gebräuchlich, Siliconkautschuke in Verbindung mit geeigneten Vernetzungsmitteln als Klebstoffe einzusetzen. Eine Komponente enthält den Siliconkautschuk, Füllstoffe und eventuell Verdünnungsmittel, die andere Vernetzungsmittel und/oder Katalysatoren. Solche Systeme sind z. B. *NV 348* mit *Vernetzer 11*. Näheres kann aus der speziellen Literatur [29] entnommen werden.
Für die Amateurtechnik sind diese Zweikomponentenkautschuksysteme unzweckmäßig. Vom *VEB Chemiewerk Nünchritz, Institut für Silicon- und Fluorkarbonchemie Radebeul,* sind aus diesem Grund kalt vernetzende Einkomponentenpasten, z. B. *Cenusil,* entwickelt worden. Die Konfektionierung erfolgt in Tuben zu 80 g, die in einschlägigen Geschäften erhältlich sind. Zu der Tube wird eine Polyethylendüse mitgeliefert, die auf den geöffneten Tubenverschluß aufgesetzt werden kann, wenn man kleine Mengen entnehmen will.
Cenusil ist eine Einkomponenten-Klebe- und -Dichtungsmasse, die am besten bei Raumtemperatur durch den Einfluß der Luftfeuchtigkeit härtet. Der entstehende Klebfilm hat folgende Eigenschaften:
- ausgezeichnete Temperaturbeständigkeit von — 55 bis + 200 °C;
- hohe Elastizität;
- relativ geringe mechanische Festigkeiten;
- ausreichende Witterungsbeständigkeit;
- gutes elektrisches Isoliervermögen, auch über große Temperaturbereiche;
- im vernetzten Zustand physiologisch unbedenklich.

Cenusil haftet sehr gut auf Eisen, Aluminium und anderen Metallen, Duroplasten wie Phenolharzen, Aminoplasten, Epoxidharzen und Polyestern sowie — für viele Zwecke ausreichend — auf den meisten Thermoplasten. Auch gegenüber Glas, Keramik, Porzellan, Steingut, Beton und Holz zeigt es sehr gute Adhäsionsneigungen. Keine bzw. nur unbedeutende Haftung haben Pasten dieser Art auf Polyethylen, Polypropylen, Polytetrafluorethylen, Polyoxymethylen und thermoplastische Polyester. Wenn die Oberfläche der Fügeteile aufgerauht ist, tritt infolge der mechanischen Verankerung des Klebstoffs sowie wegen der Vergrößerung der Oberfläche in vielen Fällen eine Erhöhung der Festigkeit ein.

Das Material ist lösungsmittelfrei und hat die angenehme Eigenschaft, während der Vulkanisation nur sehr gering zu schrumpfen. Die Vernetzung erfolgt durch Feuchtigkeitsaufnahme. Dabei wird Essigsäure frei, die an ihrem charakteristischen Geruch zu erkennen ist. Der Vernetzungsvorgang selbst beginnt sofort nach dem Ausdrücken der Paste aus der Tube. Je nach Luftfeuchtigkeit tritt bei einer 4 mm starken Pastenschicht nach 1 bis 4 Tagen eine genügende Durchhärtung ein. Den Härtungsprozeß kann man beschleunigen, wenn neben der Temperatur (bis etwa 50 °C) auch die Luftfeuchtigkeit erhöht wird. Es ist aber durch den beigemischten speziellen Vernetzer eine Aktivierung und damit eine Reaktion auch noch bei etwa — 10 °C möglich. Bei *Cenusil* sind die gleichen Forderungen an die Oberflächenvorbereitung und -behandlung zu stellen wie bei den bisher beschriebenen Produkten.

Für folgenden Einsatz hat sich nach [29] *Cenusil* bisher gut bewährt:

- Einkleben von Glasscheiben, Aquarienbau;
- Kleben von Profilen und Gegenständen aus Plasten auf Fliesen, wenn keine hohen Festigkeiten verlangt werden;
- Reparatur von Gegenständen aus Glas, Keramik, Porzellan oder Steingut, Aquarienbau;
- Anbringen von Typen-, Nummern- und Namenschildern an Geräten, Maschinen und Fahrzeugen.

Wie bereits angedeutet, läßt sich *Cenusil* auch als Dicht- und Verfugungsmasse anwenden. In der Broschüre „Gießen in der Amateurtechnik", Militärverlag der DDR, Berlin 1976, wird darüber ausführlicher berichtet.

Abschließend ist noch zu bemerken, daß mit *Cenusil* verunreinigte Geräte und Hände vor der Vernetzung des Produkts leicht durch Abreiben mit einem Tuch oder saugfähigem Papier gesäubert werden können. Nach der Vulkanisation läßt sich der Kautschuk leicht mit einer Drahtbürste von jeder Oberfläche entfernen. Die garantierte Haltbarkeit des Erzeugnisses in verschlossener Tube beträgt 6 Monate.

1.5. Polyvinylacetat

Durch seine gute Haftung gegenüber vielen Werkstoffen ist Polyvinylacetat einer der bekanntesten Klebgrundstoffe geworden. Besonders die niedermolekularen Polyvinylacetate haben eine gute Eigenklebrigkeit, so daß man sie in Form von Lösungen und Dispersionen unter den verschiedensten Namen anbietet.

1.5.1. Berliner Holzkaltleim, Brauns PVAc-Leime Typ „0", „L" und „S", Dispersionskitt L 58 S, Pelasal 136 G

Allen Dispersionsklebstoffen dieser Art ist gemeinsam, daß sie Wasser als Dispersionsmittel haben und eine weiße bis graue Farbe aufweisen. Je nach weiteren Zusätzen, z. B. Füllstoffen, sind sie niedrig- bis hochviskos. Vor Gebrauch sind sie sehr gut umzurühren.
Tabelle 1.5. gibt einen kurzen Überblick über die Eigenschaften der erwähnten Klebstoffe [10].
Polyvinylacetatdispersionen enthalten in geringen Mengen Essigsäure. Bei längerer Lagerung kann sich, besonders durch Wärmeeinfluß, dieser Anteil erhöhen. Bei folgenden Werkstoffen haben Klebstoffe dieser Art gute Adhäsionsneigung (Holz, Leder, Kunstleder, Textilien, Pappe, Linoleum, Hartfaserplatten und Kork). Die höher viskosen Produkte eignen sich unter anderem auch zum Kleben von Fliesen aus Plasten, Keramik oder Glas auf Zement- und Kalkputz, aber auch auf Sandstein oder Holz. Das sehr lösungsmittelempfindliche Schaumpolystyren und auch andere Schaumstoffe lassen sich sehr gut mit solchen Dispersionen kleben. Wesentlich ist, daß wenigstens ein Fügeteilpartner eine poröse Struktur aufweist.

Tabelle 1.5. Unterschiedliche Eigenschaften einiger PVAc-Klebstoffe

Klebstoff	Trockenrückstand in %	Viskosität in cP	pH-Wert	max. Wz. in min	min. Pz. in min
Berliner Holzkaltleim	46 ... 48	450 ... 650	7	20	30
Brauns PVAc-Leim O	46 ... 50	1600 ... 2200	3	15	30
Brauns PVAc-Leim L	40 ... 43	450 ... 650	7	15	60
Brauns PVAc-Leim S	41 ... 44	450 ... 650	7	15	60
Dispersionskitt L 58 S	etwa 75		5	3	Kontaktdruck
Pelasal 136 G	etwa 55	6000 ... 8000	5	5	Kontaktdruck

Wz. Wartezeit
Pz. Preßzeit

Die Klebverbindungen sind bedingt wasserfest, aber nicht kochfest. Die meisten PVAc-Leime sind beständig gegen Fäulnis und Schimmel. Der getrocknete Klebstoffilm ist bei den füllstofffreien Typen glasklar.
Die meisten wäßrigen Dispersionen sind frostempfindlich und dürfen nicht unter 0 °C gelagert werden.

1.5.2. Reinalit

Als Vertreter der lösungsmittelhaltigen, füllstofffreien PVAc-Kleblacke soll hier Reinalit genannt werden. Es ist ein transparenter Klebstoff, der zur Verbindung von vielen Thermoplasten wie PVC, Cellulosenitrat, Celluloseacetat sowie für Gummi, Linoleum und mit Einschränkungen für Glas und Metalle geeignet ist.
Auch bei den Kleblacken bereitet das richtige Abdunsten der (oder des) Lösungsmittel(s) oft Schwierigkeiten. Deswegen sollte auch in diesem Fall wenigstens ein Fügeteilpartner porös sein. Trifft das nicht zu, dann können die oder das Lösungsmittel nur zur Seite der Klebstoffschicht diffundieren, was gerade beim

PVAc viel Zeit erfordert; denn dieses Material hält Lösungsmittel sehr fest. Da aber die Eigenschaften der Klebstoffschicht und hier insbesondere die Kohäsion, die chemische Beständigkeit gegenüber Wasser und anderen Agenzien sowie die Wärmebeständigkeit erheblich davon abhängig sind, muß man eine ausreichende offene Wartezeit, eine geringe Auftragsdicke auf beide Fügeteile und eine warme Umgebung gewährleisten.

1.5.3. Mökoflex L 2837

Der Klebstoff stellt eine hellgraue, zähplastische Masse dar, die anorganische Füllstoffe enthält. Laut Merkblatt des Herstellers, des *VEB Schuhkombinat „Banner des Friedens", Werk Schuhchemie Mölkau*, wird speziell *Mökoflex L 2837* für folgende Aufgaben eingesetzt:

- Kleben von Isolierstoff-Abstandsschellen für die Verlegung von elektrischen Leitungen wie Steigleitungen, Schaltern und Dosen auf Ziegelstein, Putz, Beton, Metall und Holz.
- Kleben von Fliesen aus Plasten, Glas oder Keramik auf Beton, Putz oder Ölfarbe.
- Befestigen von Typen- und Bezeichnungsschildern auf Maschinen, Geräten und Anlagen.
- Kleben von Filzstreifen in Tür- und Fensterrahmen.

Neben diesen speziellen Bemerkungen gelten die gleichen Hinweise wie bei *Reinalit 50*.

1.6. Polyvinylchlorid

Eigentlich ist die Bezeichnung für den Klebgrundstoff nicht ganz richtig. Da PVC in den meisten Lösungsmitteln nur schlecht löslich ist, setzt man dafür das nachchlorierte PVC ein, das durch seinen hohen Chlorgehalt ein besseres Lösungsverhalten zeigt. Im allgemeinen enthalten die sogenannten PC-Klebstoffe 10 bis 20% Feststoffe.

Auch hier gibt es eine große Anzahl verschiedener Klebstoffe, von denen folgende genannt seien: *PC 15, PCD 13, PCM 10, PCM 13, PCM 15* und *PCA 20*. Besonders empfehlenswert ist hierbei die Gruppe der PCM-Klebstoffe, die als Lösungsmittel

Methylenchlorid enthalten, das der Gefährungsgruppe II, mittelmäßig gesundheitsschädigend, angehört und wegen seiner Nichtbrennbarkeit keiner Gefahrklasse zugeordnet ist.
Die Klebstoffe sind alle mehr oder weniger transparent. Die erforderliche Zeit bis zur Verfestigung ist neben den äußeren Bedingungen abhängig vom Klebstoff, von der Größe der Klebfläche und der Art der Fügeteile. Sie beträgt im allgemeinen 6 bis 24 Stunden.
PC-Klebstoffe setzt man zur Verbindung von Hart- und Weich-PVC mit Metallen, Holz, Pappe, Beton, Textilien, Duroplasten, Leder und mit sich selbst ein.
Zur Verbesserung der Festigkeit sollen bei hohen Ansprüchen beide Fügeteile zweimal bei einer mindestens 45minütigen Pause eingestrichen werden. Nach dem zweiten Einstrich ist nochmals etwa 5 Minuten zu warten, bis das Fügen der Teile erfolgen kann. Diese Zeitangaben gelten nicht für *PCA 20*, das als Schnellklebstoff Aceton enthält und schneller als die übrigen Lösungsmittel abdunstet. Eine Aufrauhung der zu klebenden Flächen hat sich bei diesen Klebstoffen als sehr vorteilhaft erwiesen. Der verfestigte Klebstoff ist stabil gegen aliphatische Kohlenwasserstoffe wie Benzin und Paraffin, gegen verdünnte Alkalien und die meisten Säuren. Er wird von chlorierten und aromatischen Kohlenwasserstoffen sowie Estern und Ketonen angegriffen.

1.7. Cellulosenitrat

Kleblacke auf der Basis von Cellulosenitrat gehören zu den „Allesklebstoffen". Diese Bezeichnung ist für keinen Klebstoff gerechtfertigt. Im Einzelhandel befindliche Produkte sind z. B. *Kittifix* und *Mökol (VEB Schuhkombinat „Banner des Friedens", Betrieb Mölkau)* sowie *Duosan-Rapid (VEB Filmfabrik Wolfen)* und *Emofix (VEB Asol-Chemie)*. Da reines Cellulosenitrat relativ spröde ist, hat man z. B. im *Kittifix* und im *Emofix* Kunstharze und Weichmacher bzw. andere Polymere zugesetzt, da flexibilisierte Klebstoffe für weiche Fügeteile eine bessere Eignung als spröde haben.
Cellulosenitrat hat einen polaren Charakter und ist mit vielen Werkstoffen verträglich. Es eignet sich zur Verbindung von Celluloid, Pappe, Papier, Leder, Piacryl und Holz. Es ist bedingt

zum Kleben von keramischen Werkstoffen und Gummi geeignet. Für Glas, Metalle und die meisten Plastwerkstoffe verwendet man besser die speziell dafür geeigneteren Klebstoffe. Cellulosenitratklebstoffe haben im allgemeinen nur einen Feststoffgehalt von 10 bis 30%. Es ist deshalb zweckmäßig, zunächst beide Fügeteilflächen mit dem Klebstoff einzustreichen, etwa 5 Minuten antrocknen zu lassen, danach noch ein zweites Mal eine der beiden Klebflächen einzustreichen und erst dann die Teile zusammenzufügen. Je nach Werkstoffpaarung sind für eine ausreichende Verfestigung 8 bis 12 Stunden erforderlich. Klebstoffreste können mit Aceton, Ethylacetat oder Methylenchlorid entfernt werden. Klebstoffe auf der Basis von Cellulosenitrat sind besonders feuergefährlich (Hinweise in Abschnitt 7. beachten!).

1.8. Klebstoffe auf Basis von Kautschuken

Die Kautschukklebstoffe gehören zu der umfangreichsten Klebstoffgruppe, die im Handel angeboten wird. In dem Gewirr von Namen, Buchstaben und Ziffern findet man sich nur äußerst schwer zurecht, wenn keine geeignete Übersicht zur Verfügung steht. Grundsätzlich gibt es bei diesen Klebstoffen folgende Typen:

Klebdispersionen	Chemilat D-Typen,
Klebkitte	Chemiplast K-Typen,
Kleblacke	Chemisol L-Typen
Kittmassen	Chemiplast M-Typen.

Im folgenden seien nur die Chemisol L-Typen betrachtet, da ihnen von allen vier Sorten die größte Bedeutung zukommt. Hersteller aller vier Typen ist der *VEB Schuhkombinat „Banner des Friedens"*.

1.8.1. Chemisol L 1100

Hierbei handelt es sich um Kleblacke auf der Basis von Naturkautschuk, die sich in der Art des Lösungsmittels, dem Lösungsmittelgehalt, der Viskosität, der offenen Wartezeit und der Verfestigungszeit sowie der zur Verfestigung erforderlichen Temperatur unterscheiden.

Die Sorte *L 1100* ist von niederer bis mittlerer Viskosität, hat eine offene Wartezeit in Abhängigkeit vom Werkstoff und von der Klebfläche von 0 bis 10 Minuten. Als Preßdruck genügt ein Kontaktdruck. Ein zweimaliges Einstreichen der Fügeteile mit Klebstoff erhöht die spätere Festigkeit der Klebverbindung. Man kann bei vielen Kautschukklebstoffen, so auch beim *Chemisol L 1100*, eine Trockenklebung durchführen. Dazu werden beide Fügeteiloberflächen mit Klebstoff eingestrichen. Nach 30 bis 60 Minuten ist der Klebstoffilm oberflächlich getrocknet, und man fügt die Teile durch kurzes, kräftiges Andrücken zusammen. Man kann mit dem Fügen der Teile bis zu 24 Stunden nach Klebstoffauftrag warten, muß aber dann dafür sorgen, daß weder Staub noch Feuchtigkeit auf den Klebstoff kommen.
Klebstoffe auf Naturkautschukbasis haften auf fast allen Werkstoffen. Sie werden besonders zum Kleben von Schaumstoffen, Leder, Gummi, Textilien, Pappe, Filz und anderem verwendet.

1.8.2. Chemisol L 1300 bis L 1399

Diese Typen bauen sich auf gelöste Butadien-Styrol-Mischpolymerisate auf. Im Prinzip gelten auch hier die in Abschnitt 1.8.1. getroffenen Aussagen, nur daß neben den dort genannten Werkstoffen auch noch viele Plastwerkstoffe, z. B. PVC, aber auch Metalle, Holz oder keramische Materialien geklebt werden können. Die offene Wartezeit beträgt je nach Umgebungstemperatur 30 bis 120 Minuten.

1.8.3. Chemisol L 1403

Dieser Kleblack wird auf der Grundlage von Butadien-Acrylnitril-Mischpolymerisaten hergestellt, denen bestimmte Harze z. B. niedrig kondensierte Phenolharze zugesetzt worden sind. Das Beispiel des *Chemisol L 1405*, des bekanntesten Vertreters dieser Gruppe, zeigt die typische Anwendung. Folgende Werkstoffe können geklebt werden: alle Gummiarten außer Silicongummi, Kunstleder, fast alle Arten Folien wie PVC-weich, Cellophan, aber auch Filz, Textilien, Holz, Pappe, Polystyren, Polyamid, Glakresit und Metalle.

Die offene Wartezeit beträgt etwa 10 bis 30 Minuten, der erforderliche Preßdruck 2 bis 4 kp/cm² (0,2 bis 0,4 N/mm²) und die Preßzeit 15 s.

1.8.4. Chemisol L 1503 und L 1504 und Chemikal-Klebstoff

Ähnlich wie bei den anderen bereits beschriebenen Chemisol-Typen handelt es sich hierbei auch um Kleblacke. Sie werden auf der Grundlage von Synthesekautschuk auf Polychloropren-Basis hergestellt, denen Harze wie Phenol-, Melamin-, Kolophonium- oder Anilin-Formaldehyd-Harze und Stabilisatoren zugesetzt worden sind. Durch diese Harze wird das kohäsive und adhäsive Verhalten stark beeinflußt. Polychloroprenklebstoffe zeigen auf Grund ihrer starken Kristallisationsneigung höhere Festigkeiten und Temperaturbeständigkeiten als andere Kautschukklebstoffe. Die Klebstellen sind bis etwa + 50 °C belastbar und widerstehen den meisten witterungsbedingten Einflüssen. Die offene Wartezeit beträgt 2 bis 15 Minuten, der Preßdruck etwa 2 bis 5 kp/cm² (0,2 bis 0,5 N/mm²) und die Preßzeit etwa 10 s. Bei der Verarbeitung sollte eine minimale Temperatur von + 18 °C herrschen. Die Klebfestigkeit nimmt innerhalb der ersten 48 Stunden erheblich zu.
Wegen ihrer guten Eigenschaften werden Polychloroprenkautschuk-Klebstoffe in fast allen Industriezweigen eingesetzt. Sie dienen u. a. im Elektrogeräte- und Kühlschrankbau zum Befestigen von Dichtungen, aber auch im Waggon- und Schiffsbau, in der Schuh- und Möbelindustrie sind sie von Bedeutung.
Folgende Werkstoffe lassen sich z. B. mit *Chemisol L 1504* kleben: Hart- und Weich-PVC, Schaumgummi und andere Schaumstoffe, Gummi, Piacryl, Polystyren, Polyamid, Polyester- und Epoxidharze, Polyurethane, Phenolharze wie Sprelacart, aber auch Metalle, speziell eloxiertes Aluminium-Blech sowie Gewebe, Pappe, Holz und vieles andere. Als Kontaktklebstoff sind sie fast universell einsetzbar.

1.9. Polystyren-Klebstoffe

Einer der verbreitetsten Plastwerkstoffe in der Elektrotechnik ist Polystyren in allen seinen Formen. Zum Kleben von Polystyren-

artikeln sollten keine Lösungsmittel, sondern Lösungen des Polymeren verwendet werden, da mit Kleblacken verbundene Teile geringe Spannungen aufweisen. Solche Klebstoffe sind z. B. *Plastikfix* und *Epasin 572*.
Sowohl *Plastikfix* als auch *Epasin 572* haben eine offene Wartezeit von etwa 2 Minuten. Beide zu klebende Flächen werden mit dem Klebstoff eingestrichen und nach dem Abdunsten eines Teils des Lösungsmittels unter Kontaktdruck verbunden. Es empfiehlt sich eine Fixierung der Fügeteile bis zur ausreichenden Verfestigung des Klebstoffs, was ungefähr 5 bis 12 Stunden dauert. Danach kann auch durch leichte Erwärmung der Fügeteile auf etwa 50 °C eine schnellere Abdunstung des Lösungsmittels erreicht werden. Zur Vermeidung von Blasen in der Klebfuge sollte man aber nicht gleich nach dem Fügen erwärmen.

1.10. Sulfitablauge, Fußbodenklebstoff Blausiegel

Vom *Klebstoffkombinat Pirna* wird der Fußbodenklebstoff *Blausiegel* hergestellt, der zum Kleben von Holz, Leder, Filz, Pappe sehr gut geeignet ist. Dieser Leim ist einfach in der Handhabung und für viele Aufgaben in der Modell- und Amateurtechnik ausreichend. Klebstoffe dieser Art sind mit Wasser verdünnbar und physiologisch einwandfrei.

1.11. Sonstige Klebstoffe

Neben den bisher beschriebenen Produkten gibt es eine Vielzahl von Erzeugnissen unterschiedlicher Rohstoffgrundlage, die in diesem kurzen Abriß leider keine Berücksichtigung finden konnten. Vom Fachhandel wird auch der Klebstoff *Epasol-Kontakt* angeboten. Er ist auf eine gemeinsame Entwicklungsarbeit des ehemaligen Instituts für Kunststoffe der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin und dem *VEB Asol-Chemie* zurückzuführen. Er eignet sich speziell zum Kleben von Folien aller Art sowie Geweben. Die dabei erreichbaren Schälwiderstände von 2 bis 6 N/cm je nach Folienart reichen für die meisten Anwendungsfälle aus. Das Kleben von Schaumstoffen ist möglich; jedoch ist dafür die Viskosität und die Anfangsfestigkeit sehr niedrig.

2. Gieß- und Laminierharze

2.1. Epoxidharze

Bei den Epoxidharzen ist ähnlich wie bei den Klebstoffen zwischen kalt-, warm- und heißhärtenden Produkten zu unterscheiden. Die einzige hier aufgenommene heißhärtende Kombination ist *Epilox EG 34* mit *Epilox-Härter 105*.

2.1.1. Epilox EGK 19

Von der Beschaffenheit her ist *Epilox EGK 19* ein kalthärtendes, lösungsmittelfreies, niedrigmolekulares Epoxidharz, das eine Viskosität von 1700 bis 3000 mPa · s hat, also relativ dünnflüssig ist. *Epilox EGK 19* kann mit *Härter 3* oder *Härter 8* gehärtet werden.
Härter 3 ist ein technisches Dipropylentriamin von wasserheller bis grün-bräunlicher Farbe. Die Flüssigkeit ist hygroskopisch, raucht an der Luft und wirkt stark ätzend!
Härter 8 ist ein aromatisches Aminoamid. Er ist lösungsmittelhaltig, von rotbrauner Farbe und wirkt nicht ätzend. Das Mischungsverhältnis beträgt mit *Härter 3* 100:11 MT und mit *Härter 8* 100:45 MT.
Die Gebrauchsdauer beträgt für einen 100-g-Ansatz mit *Härter 3* etwa 35 bis 45 Minuten und mit *Härter 8* etwa 100 Minuten.
Die Eigenschaften der Gießharz-Formstoffe mit *Epilox EGK 19* gibt [8] in Tabelle 2.1. an. Wie aus der Übersicht zu entnehmen ist, verfügt *Epilox EGK 19* über gute mechanische und dielektrische Eigenschaften, die es gestatten, dieses Harz für die vielfältigsten Aufgaben, besonders in der Elektrotechnik, einzusetzen.
Die Viskosität der Harz-Härter-Mischung beträgt mit *Härter 3* etwa 700 mPa · s und mit *Härter 8* etwa 1500 mPa · s. Allen kalthärtenden Harzen ist gemeinsam, daß sofort nach Zugabe des *Härters* die chemische Reaktion beginnt. Äußerlich wird das durch ein zunächst nur sehr langsames Ansteigen der Temperatur der Mischung festgestellt. Zum Ende der Gebrauchsdauer erhöht

Tabelle 2.1. Eigenschaften von *Epilox EGK 19* mit *Härter 3* bzw. *8*

Prüfung	TGL	Einheit	Epilox EGK 19 mit Härter 3	Härter 8
Schlagbiegefestigkeit	16446 Bl. 4	kJ/m^2	20 ... 28	15 ... 23
Biegefestigkeit	16446 Bl. 4	N/mm^2	1100	800
Zugfestigkeit	16446 Bl. 4	N/mm^2	700	600
E-Modul aus Biegeversuch	14067	N/mm^2	$28 \cdot 10^3$	$24 \cdot 10^3$
lineare Schwindung		%	<1	<1
Torsionsschwingversuch max.	16446 Bl. 4	°C	91	70
Kugeldruckhärte	16446 Bl. 4	N/mm^2	1200	850
Wärmeformbeständigkeit nach *Martens*	16446 Bl. 4	°C	63	58
Zersetzungstemperatur		°C	>350	>350
Dielektrischer Verlustfaktor tan δ bei 800 Hz, 20 °C	16446 Bl. 4	—	$1{,}2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
Dielektrizitätskonstante bei 800 Hz, 20 °C	16446 Bl. 4	—	4,0	4,6
Durchschlagfestigkeit	200-0009	kV/mm	62	65
Oberflächenwiderstand	16446 Bl. 4	Ω	$3 \cdot 10^{15}$	$3 \cdot 10^{15}$

sich die Temperatur sehr schnell. Nach eigenen Untersuchungen steigt die Temperatur eines 100-g-Ansatzes mit *Härter 3* auf etwa 140 bis 160 °C und mit *Härter 8* auf 80 bis 100 °C an.

Durch Kühlen der Form in fließendem Wasser kann dieser Temperaturanstieg je nach Dimensionierung und Formwerkstoff auf 60 bis etwa 35 °C reduziert werden. Die Temperatur der Rohstoffe sollte möglichst nicht über 25 °C liegen, weil sich sonst die Gebrauchsdauer erheblich verkürzt. Harzansätze über 100 g kann man mit auf 5 bis 10 °C vorgekühlten Komponenten in kühlbaren Formen gießen. Die Kühlung eines Ansatzes hat

den Vorteil, daß durch die geringe Temperaturerhöhung keine so starken Spannungen im Gußteil auftreten, was für tragende Bauteile wesentlich ist. Außerdem werden empfindliche Bauteile thermisch nicht geschädigt.
Sowohl mit *Härter 3* als auch mit *Härter 8* wird bei *Epilox EGK 19* nach etwa 24 Stunden bei 20 °C eine gute Festigkeit erzielt. Die endgültige Aushärtung ist jedoch erst nach einigen Tagen erreicht. Man kann diese Zeit verkürzen, wenn man nach der 24stündigen Härtung bei Raumtemperatur eine Nachhärtung von 2 Stunden bei 90 bis 100 °C durchführt. Dabei ist nicht die Zeit berücksichtigt, die erforderlich ist, um den gegossenen Körper auf diese Temperatur zu erwärmen. Eine sofortige Warm- oder Heißhärtung ist nur möglich, wenn sehr dünne Harzschichten vorliegen, wie das z. B. bei Klebfugen der Fall ist. So kann man *Epilox EGK 19* mit *Härter 3* bei 60 °C in 30 Minuten, mit *Härter 8* in 120 Minuten aushärten. Wichtig erscheint es noch, die weiteren Unterschiede zwischen Mischungen von *Epilox EGK 19* mit *Härter 3* und *Härter 8* hervorzuheben.

Härter 8:
- Die Mischung färbt sich dunkel.
- Die exotherme Reaktion ist nicht so stark.
- Die Härtung verläuft langsamer.
- Die gegossenen Körper sind elastischer.
- Die Dosierung des Härters muß nicht so genau gehandhabt werden, eine Überdosierung führt zu einer zusätzlichen Flexibilisierung.
- Mit zunehmendem Härterzusatz sinkt die Wärme- und Wasserbeständigkeit.
- Die Verarbeitungseigenschaften sind angenehmer, weil keine ätzenden Dämpfe entstehen und das Lösungsmittel durch seine Schwerflüchtigkeit nicht stört.
- Das Gemisch ist relativ unempfindlich gegen Feuchtigkeit bei der Verarbeitung.

Härter 3:
- Es tritt eine starke exotherme Reaktion auf.
- Die Gebrauchsdauer ist kürzer.
- Die Aushärtung erfolgt schneller.
- Die Dosierung muß recht genau vorgenommen werden, da

sonst die Eigenschaften sowohl bei Über- als auch Unterdosierung abfallen.
- Das Gemisch ist gut einfärbbar.

Zwischen einer Klebverbindung und einem gegossenen Körper bestehen besonders hinsichtlich der Chemikalienbeständigkeit erhebliche Unterschiede, so daß nur begrenzt Vergleiche zulässig sind. Zur Anwendung ist zu bemerken, daß *Epilox EGK 19* insbesondere mit *Härter 3* sowohl in der Hoch- als auch in der Niederspannungstechnik eingesetzt wird. Einige Beispiele sollen das Einbetten, Umhüllen oder Ausgießen von Kondensatoren, Spulen, Steckverbindungen, Transistoren, Transformatoren, Widerständen, Schalterteilen, Gleichrichtern, Wandlern, Muffen und vielen anderen Bauteilen sein.

Für die Laminiertechnik eignen sich *Epilox EGK 19-Härter 3-* oder *-Härter 8-Gemische* auf Grund ihrer günstigen Viskosität besonders gut. Es können dadurch die verschiedenartigsten Matten und Gewebe getränkt werden. Die Härtungsdauer sollte mindestens 24 Stunden betragen, bevor eine weitere Bearbeitung vorgenommen wird.

2.1.2. Epilox EG 34

Epilox EG 34 wird wie auch alle anderen *Epilox*-Arten vom *VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht"* hergestellt. Dieses Produkt hat ein bernsteinfarbenes, klares Aussehen und eine Viskosität von 25 000 bis 50 000 mPa · s bei 20 °C, d. h., es ist bei dieser Temperatur recht dickflüssig. *Epilox EG 34* kann sowohl mit *Härter 3*, *Härter 8* als auch *Härter 105* gehärtet werden. Das Mischungsverhältnis beträgt mit *Härter 3* 100:12 MT, mit *Härter 8* 100:60 MT und mit *Härter 105* 100:33 MT. Die Viskosität beträgt bei *Epilox EG 34/Härter 3* 2500 mPa · s und bei EG *34/Härter 8* 1500 bis 1700 mPa · s.

Die Gebrauchsdauer ist bei diesem Harz mit beiden Härtern etwas kürzer als bei Mischungen mit *Epilox EGK 19*. Ansonsten gelten die gleichen Bedingungen wie bei der Verarbeitung von *Epilox EGK 19* mit *Härter 3* oder *8*.

Völlig anders ist die Handhabung der Kombination *Epilox EG 34* mit *Härter 105*. Dieser dunkelbraune, zähflüssige Härter neigt leicht zum Auskristallisieren. Es handelt sich um ein aromatisches

Tabelle 2.2. Eigenschaften von *Epilox EG 34* mit *Härter 3, 8* bzw. *105*

Prüfung	TGL	Einheit	Härter 3	Härter 8	Härter 105
Schlagbiegefestigkeit	16446 Bl. 4	kJ/m^2	16		40
Biegefestigkeit	16446 Bl. 4	N/mm^2	120	100	110
Zugfestigkeit	16446 Bl. 4	N/mm^2	70	60	75
E-Modul (aus Biegeversuch)	—	N/mm^2		$(28 \ldots 32) \cdot 10^3$	
Lineare Schwindung	—	%			0,722
Wärmeformbeständigkeit nach *Martens*	16446 Bl. 4	°C	90	70	140
Linearer Wärmeausdehnungskoeffizient	200-0045	mm/mm °C		$(60 \ldots 65) \cdot 10^{-6}$	
Zersetzungstemperatur	—	°C		300 ... 350	
Dielektrischer Verlustfaktor bei 800 Hz und 20 °C	16446 Bl. 4	—	$1{,}2 \cdot 10^{-2}$	$1{,}6 \cdot 10^{-2}$	$1{,}0 \cdot 10^{-2}$
Dielektrizitätskonstante bei 800 Hz und 20 °C	16446 Bl. 4	—	4,4	5,0	4,3
Durchschlagfestigkeit	200-0009	kV/mm	~75	~75	~80
Kriechstromfestigkeit	200-0018	Verf. B	>600	>600	>600
Oberflächenwiderstand	16446 Bl. 4	$\Omega \cdot cm$	$1{,}8 \cdot 10^{16}$	$5{,}3 \cdot 10^{14}$	$5{,}0 \cdot 10^{17}$

Amin, das erst bei höherer Temperatur mit dem Epoxidharz reagiert.

Zum *Härter 105* ist zu bemerken, daß er sich auf Grund seiner komplizierteren Handhabung weniger für den häuslichen Bereich eignet als vielmehr für Arbeitsgemeinschaften im Betrieb.

Epilox EG 34 wird in der erforderlichen Menge abgewogen, in ein Blechgefäß gefüllt und auf etwa 70 °C erhitzt. Es ist darauf zu achten, daß nur saubere und trockene Gefäße benutzt werden. Der *Härter 105* wird ebenfalls in der vorher berechneten Menge abgewogen, zum Schmelzen auf 130 °C erwärmt und zur Verarbeitung auf 70 °C abgekühlt. Danach wird der Härter in das Harz gegossen und so lange gemischt, bis die Masse homogen ist. Die Viskosität dieser Mischung beträgt bei 70 °C etwa 1000 bis 1500 mPa · s, die Gebrauchsdauer liegt zwischen 40 und 60 Minuten. In dieser Zeit muß das heiße Harz/Härter-Gemisch verarbeitet werden. Die Härtung sollte in zwei Stufen ablaufen, wobei eine Vorreaktion über 3 bis 5 Stunden bei 80 bis 90 °C zu empfehlen ist. Nach dieser Zeit ist das Harz zwar fest, aber noch nicht durchgehärtet. Die vollständige Härtung tritt während der zweiten Stufe ein, die sich gleich ohne zwischenzeitliche Abkühlung anschließen soll, bei 130 °C über 2 Stunden. Danach kann man das Harz/Härter-Gemisch langsam erkalten lassen. Ein zu schnelles Abkühlen führt zu unnötigen Spannungen und unter Umständen zu Rissen. Die Zeitangaben enthalten nicht die erforderliche Heizdauer bis zum Erreichen der angegebenen Temperaturen.

Epilox EG 34 hat mit *Härter 3, 8* oder *105* nach [8] die in Tabelle 2.2. angegebenen Eigenschaften.

Die Anwendung von *Epilox EG 34* mit *Härter 3* und *8* ist ähnlich wie bei *Epilox EGK 19*, jedoch muß man bei Verwendung von *Härter 3* die größere Sprödigkeit beachten. Mit *Härter 105* wird es zur Herstellung von korrosionsfesten, gut bearbeitbaren Gußteilen sowie für solche Anwendungsfälle in der Elektroindustrie benutzt, bei denen kalthärtende Harze nicht mehr den Anforderungen genügen.

Ergänzend sei noch bemerkt, daß aus *Epilox EG 34* Spachtelmassen hergestellt werden können, die ebenfalls über gute Wärmebeständigkeiten verfügen. Auf Grund der höheren Viskosität von *Epilox EG 34*-Härter-Gemischen wird es relativ selten in der Laminiertechnik verwendet.

2.1.3. Epilox EGK 54

Dieses Harz ist lösungsmittelfrei, bernsteinfarben, transparent und mit 1500 bis 2500 mPa · s von niedriger Viskosität. Es ist kalt härtbar und kann sowohl mit *Härter 3* als auch mit *Härter 8* umgesetzt werden. Das Mischungsverhältnis beträgt mit *Härter 3* 100:9 MT und mit *Härter 8* 100:35 MT.
Für die Härtung gelten die gleichen Bedingungen wie für *Epilox EGK 19*, nur daß der Härtungsverlauf selbst etwas ruhiger ist. Die Gebrauchsdauer beträgt mit *Härter 3* etwa 40 und mit *Härter 8* etwa 100 Minuten. Die Viskosität der Mischung ist bei 20 °C 1600 bzw. 2000 mPa · s. Die Eigenschaften von *Epilox EGK 54* unterscheiden sich von *Epilox EGK 19* besonders dadurch, daß *EGK 54* einen höheren Anteil eines nichtreaktiven Verdünners enthält, der sowohl die thermischen, mechanischen als auch dielektrischen Eigenschaften negativ beeinflußt.
Trotzdem ist das Eigenschaftsbild so gestaltet, daß dieses Produkt für viele Zwecke völlig genügt. Durch seine geringe Wärmeformbeständigkeit, die mit *Härter 3* 45 °C und mit *Härter 8* 30 bis 35 °C beträgt, eignet es sich weniger für Teile, die neben einer mechanischen auch noch eine thermische Belastung aushalten sollen. Bei starker, lang andauernder thermischer Beanspruchung „schwitzen" Gußteile etwas Weichmacher aus und zeigen Schrumpferscheinungen. Die Dauertemperaturbeanspruchung sollte deshalb 50 °C nicht überschreiten. Zur Anwendung ist zu bemerken, daß *Epilox EGK 54* neben anderem hauptsächlich zur Herstellung von Kabelmuffen und Kabelendverschlüssen verwendet wird.

2.1.4. Epilox EGK 106

Epilox EGK 106 ist ein niedrigmolekulares Epoxidharz, das mit einem reaktiven Verdünner modifiziert wurde. Es ist von klarem gelbem bis braunem Aussehen und hat mit 350 bis 650 mPa · s eine sehr niedrige Viskosität. Es handelt sich um ein kalthärtendes Harz, das mit *Härter 3* 100:12 MT bzw. *Härter 8* 100:55 MT gemischt werden muß. Durch den dünnflüssigen Zustand der Mischung können eventuell eingerührte Luftblasen leichter entweichen. Die Gebrauchsdauer des Gemisches ist mit 15 bis 25 Mi-

nuten sehr kurz, jedoch ausreichend lang, wenn alle vorbereitenden Arbeiten vor dem Anrühren erledigt wurden. Eine gewisse Verlängerung der Gebrauchsdauer erhält man durch eine Vorkühlung von Harz und Härter auf etwa + 5 °C. Da die Härtung recht schnell verläuft und die dabei frei werdende Wärmemenge groß ist, empfiehlt es sich, bei kompakten Vergüssen über 50 g die Form oder das Werkzeug zu kühlen.
Bei der Anwendung ist zu beachten, daß es mit *Härter 3* eine Formbeständigkeit nach *Martens* bis mindestens 45 °C hat. Es wird dadurch weniger für konstruktive Aufgaben im Maschinenbau als vielmehr für den Verguß kleiner Bauteile der Elektrotechnik/Elektronik verwendet. Durch seine Dimensionsstabilität eignet es sich zur Fertigung maßgenauer Werkstücke, wobei durch die niedrige Viskosität auch die Ausbildung sehr feiner Konturen möglich ist. Dieser dünnflüssige Zustand ermöglicht auch die Anwendung als Tränk- oder Träufelharz.
Für den Modellbau lassen sich mit dünnen Geweben daraus leichte, aber dimensionsstabile Laminate herstellen.

2.1.5. Epasol EP 9

Dieses Epoxidharz ähnelt in seiner Beschaffenheit dem *Epilox EGK 19*. Es ist füllstofffrei, das Harz transparent gelb und der Härter gelb bis farblos. Das Mischungsverhältnis von Teil A : Teil B beträgt 4:1 MT, wobei eine Mischungstoleranz von ± 10% möglich ist. Die mechanischen und dielektrischen Eigenschaften entsprechen denen von *Epilox EGK 19*. Bei der Verarbeitung sind auch die gleichen Hinweise zu beachten. Der Härter ist ein insitu-Addukt. Die Härtung kann bei 20 °C in 24 Stunden oder bei 80 °C in 3 Stunden erfolgen. Unter 15 °C kommt es nicht zu einer vollständigen Durchhärtung.
Zur Anwendung ist zu bemerken, daß es zum Einbetten von Kleinbauteilen, zum Verguß von Bauelementen der verschiedensten Art geeignet ist.

2.1.6. Epasol SP 2

Epasol SP 2 ist ein Spachtelharz. Das Harz ist eine zähe, elfenbeinfarbene Masse. Es wird mit *Härter 3* 100:6 MT und mit

Härter P1 100:5 MT gemischt. Die Mischung ist cremefarben und ebenfalls sehr dickflüssig bzw. spachtelartig. Die Gebrauchsdauer eines 100-g-Ansatzes beträgt bei 20 °C etwa 25 Minuten. Die Mischung härtet bei Zimmertemperatur (20 °C) in 16 Stunden, bei 40 °C in 6 und bei 80 °C in 2 Stunden aus. Unter 15 °C kann *Epasol SP 2* nicht ausgehärtet werden.

Wie bereits angedeutet, kann *Epasol SP 2* zum Ausfüllen von Fugen und Rissen sowie zur Beseitigung von Gußfehlern, Lunkern, Löchern und anderen Material- und insbesondere Oberflächenfehlern benutzt werden. Bei der Beseitigung von Gußfehlern ist zunächst das Werkstück an der betreffenden Stelle gründlich zu entfetten. Hinweise über das Entfetten sind dem Abschnitt 4. zu entnehmen.

Man sollte die betreffenden Stellen mit sauberem Schmirgelleinen der Sorte 100 leicht aufrauhen. Die zu spachtelnde Stelle wird nun auf etwa 50 °C erwärmt und danach der angerührte Spachtel aufgetragen. Nach der normalen Härtung kann man, soweit möglich und notwendig, noch 2 Stunden bei 100 °C nachhärten. Eine mechanische Bearbeitung, auch Polieren, des ausgehärteten Spachtels bereitet keine Schwierigkeiten. Die thermische Beständigkeit beträgt etwa 70 °C. In vielen Fällen, wo keine Kräfte auf den Spachtel einwirken, kann auch eine Temperaturbeanspruchung von 90 °C und unter Umständen bis 100 °C erfolgen. Andere Spachtel, auf die aber nicht näher eingegangen wird, sind z. B. *Epasol SP 4*, *SP 11* und *SP 125*. Sie werden alle im *VEB Asol-Chemie* hergestellt.

2.2. Polyesterharze

Alle in der DDR hergestellten ungesättigten Polyesterharze werden vom *VEB Kombinat Chemische Werke Buna* produziert. Nachstehend sind 3 Produkte aus dem Angebot beschrieben worden.

2.2.1. UP-AS 2333 (alte Bezeichnung Polyester G)

Das Polyesterharz ist aus der Reihe dieser Produkte das bekannteste. Es ist die Lösung eines ungesättigten Polyesterharzes in

Styren. Die Viskosität beträgt 700 bis 1100 mPa · s, d. h., es ist relativ dünnflüssig. Ungesättigte Polyesterharze werden durch Zugabe eines geeigneten Peroxids, das sich meist zu einem bestimmten Prozentsatz in einer inerten Flüssigkeit befindet, heiß gehärtet oder durch Zusetzen eines Peroxids und eines Beschleunigers kalt gehärtet.

Für die Heißhärtung kann man z. B. Benzoylperoxid, Lauroylperoxid und Butylperbenzoat verwenden. Für die Kalthärtung wird Cyclohexanonperoxid angeboten. Als Beschleuniger eignet sich eine Lösung von Kobaltnaphthenat der sogenannten Kobaltbeschleuniger. Die Warmhärtung kann man bei einem Zusatz von 2% Benzoylperoxidpaste (50%ig) in 4 Stunden bei 80 °C durchführen. Die Kalthärtung ist die gebräuchlichere Form, die durch einen Zusatz von 2% Kobaltbeschleuniger und 2% Cyclohexanonperoxidpaste (50%ig) in 24 Stunden bewirkt werden kann. Die Eigenschaften des gegossenen Körpers sind durch eine Nachhärtung von 4 Stunden bei 80 °C noch zu verbessern.

Tabelle 2.3. Eigenschaften von *UP-AS 2333* mit Cyclohexanonperoxid und Kobaltbeschleuniger

Prüfung	TGL	Dimension	Prüfwert
Biegefestigkeit	14067	N/mm^2	93
Schlagzähigkeit	14068	kJ/m^2	8
Kerbschlagzähigkeit	14068	kJ/m^2	4
Wärmeformbeständigkeit nach *Martens*	14071	°C	45
Wärmeleitzahl	—	kcal/mh °C	0,12
Wasseraufnahme n. 11 Tg. Lager im Wasser b. 20 °C	0-53472	%	3,2
Dielektrizitätskonstante 50 Hz/800 Hz	200-0006	—	4,5/4,3
n. 24 Std. Wasserlagerung	200-0006	—	6,2/5,3
Dielektrischer Verlustfaktor 50 Hz/800 Hz	200-0006	—	0,032/0,025
n. 24 Std. Wasserlagerung	200-0006	—	0,062/0,047
Spezifischer Durchgangswiderstand	0-53482	$\Omega \cdot cm$	$3 \cdot 10^{14}$
n. 24 Std. Wasserlagerung	0,53 482	$\Omega \cdot cm$	$5 \cdot 10^{12}$
Durchschlagfestigkeit	200-0009	kV/mm	23
n. 24 Std. Wasserlagerung	200-0009	kV/mm	21

Die mechanischen und elektrischen Eigenschaften eines so hergestellten Prüfkörpers sehen nach [8] wie in Tabelle 2.3. angegeben aus.

Polyester *UP-AS 2333* weist eine Volumenschrumpfung von etwa 8% auf, die durch die Art der Reaktion bedingt ist. Diese Schrumpfung kann leicht zur Rißbildung in Gießlingen führen, wenn nicht entsprechende Vorkehrungen dagegen getroffen werden. Dazu gehören neben einer langsameren Härtungsreaktion durch geringeren Peroxid- und Beschleunigerzusatz eine niedrige Ausgangstemperatur der Komponenten sowie die Zugabe von Füllstoffen, auf die in Abschnitt 3. noch näher eingegangen wird.

Alle Peroxidpasten muß man vor Gebrauch gut umrühren, da sie stark zum Absetzen neigen. Es ist streng darauf zu achten, daß das Peroxid, auch Katalysator genannt, nie mit dem Beschleuniger in konzentrierter Form in Berührung kommt, weil dabei sofort ein explosionsartiger Zerfall des Peroxids auftreten würde. Zunächst wiegt man das Harz, danach das Peroxid ab und mischt beide Komponenten so lange, bis sich das Peroxid aufgelöst hat. Erst danach wird der Beschleuniger abgewogen und der Mischung zugesetzt. Bei dem nun folgenden Mischen ist eine Explosion ausgeschlossen, da die Peroxidkonzentration im Harz gering ist. Selbstverständlich kann man auch erst den Beschleuniger zusetzen, umrühren und dann das Peroxid zugeben. Ein fertig gemischter Ansatz von etwa 50 g muß bei einem Zusatz von 2% Cyclohexanonperoxid und 2% Kobaltbeschleuniger innerhalb von 20 bis 30 Minuten (bei 20 °C) verarbeitet werden. Mit steigender Umgebungstemperatur sinkt die Gebrauchsdauer. Die Temperatur steigt nach Angabe des Herstellers [4] während der Polymerisation auf etwa 150 bis 165 °C an. *UP-AS 2333* sollte mit Cyclohexanonperoxid nicht unter + 15 °C und nicht über + 30 °C verarbeitet werden, weil sonst die Gebrauchsdauer bzw. Härtungszeit zu ungünstige Werte annehmen würde. Nach 24 Stunden ist das Harz fast ausgehärtet. Zur Verbesserung der Eigenschaften sollte der gegossene Körper anschließend 4 Stunden bei 80 bis 90 °C nachgehärtet werden. Es ist darauf zu achten, daß die Gußstücke eine gute Auflage haben. Nach Beendigung dieser Nachhärtung müssen die Werkstücke langsam abkühlen, um nicht zusätzliche Spannungen entstehen zu lassen. Bei Umgebungstemperaturen unter 15 °C bis etwa — 5 °C ist es zweck-

mäßig, den Vanadiumbeschleuniger (Entwicklungsprodukt) zu verwenden. Die zuzusetzende Menge beträgt für Gießharze 1,5 bis 2%. Ansonsten gelten die gleichen Hinweise wie beim Kobaltbeschleuniger.

Polyesterharze haben neben der starken Schrumpfung noch eine Eigenart — die Oberfläche des gehärteten Harzes bleibt oft klebrig. Als Gegenmaßnahme kann der Peroxid- und Beschleunigeranteil auf 3 bis 4% erhöht werden, oder man deckt die der Luft zugekehrte Seite mit einer Folie aus Perfol, Cellophan oder Polyethylen ab. Es ist möglich, etwa 2 bis 5% einer Wachs-Styren-Lösung zuzusetzen. Die Herstellung solcher Lösungen ist sehr einfach. Es sind 5 MT Hartwachs in 95 MT Styren, einer klaren, niedrigviskosen, unangenehm riechenden Flüssigkeit, zu lösen. In der Amateurtechnik können alle drei Verfahren angewendet werden. Der erhöhte Beschleuniger- und Peroxidzusatz hat z. B. bei je 3% eine Verkürzung der Gebrauchsdauer auf etwa 10 bis 15 Minuten zur Folge und ist als Gießharz nur noch für sehr kleine Ansätze geeignet. Die Härtungsdauer ist u. a. stark von der Größe und der geometrischen Form des gegossenen Körpers abhängig. Je größer und kompakter ein Körper ist, desto kürzer wird die Härtungszeit sein.

So, wie es für ungesättigte Polyesterharze Katalysatoren (Initiatoren) wie die beschriebenen Peroxide gibt, gibt es auch eine Reihe von Verbindungen, die als Polymerisationsverzögerer (Inhibitoren) wirken können. Neben Wasser und Feuchtigkeit, die die Eigenschaften des gehärteten Harzes auch noch stark verschlechtern, gibt es aber Produkte, die gezielt angewendet werden können. Zu ihnen gehören neben einigen Metalloxiden auch einige Lösungsmittel.

2.2.2. Hobby-Plast

An Stelle von *UP-AS 2333* kann auch *Hobby-Plast* verwendet werden. Wenn berücksichtigt wird, daß dieser Polyester bereits 1% Kobaltbeschleuniger enthält, ergeben sich keine Unterschiede. Für die praktische Arbeit sei darauf hingewiesen, daß erst, wenn erforderlich, weiterer Beschleuniger zugegeben werden und vermischt werden muß, bevor man ein Peroxid zusetzt.

2.2.3. UP-AS 2311 (alte Bezeichnung Polyester GM)

Dieses Polyesterharz ergibt nach der Reaktion relativ weiche Gießlinge. Es ist ebenfalls wie *UP-AS 2333* eine niedrigviskose Lösung eines ungesättigten Polyesters in Styren. Das Harz dient hauptsächlich zum Flexibilisieren anderer Polyesterharze, mit denen es auch beliebig mischbar ist. Wird es allein als Gießharz verwendet, so kann man damit große Gußteile ohne Schwierigkeiten herstellen. Die Härtung verläuft ruhiger und weist nicht so hohe Temperaturspitzen auf. Die Härtung kann sowohl heiß mit Benzoylperoxidpaste als auch kalt mit Cyclohexanonperoxid und Kobaltbeschleuniger erfolgen. Das Temperaturmaximum beträgt bei der Kalthärtung etwa 90 °C. Die Volumenschrumpfung ist mit 6,6% relativ niedrig.
Ein Zusatz von Polyester *UP-AS 2311* verringert die Biegefestigkeit, Druckfestigkeit, Kugeldruckhärte, Wärmeform- und Chemikalienbeständigkeit. Er erhöht die Schlagzähigkeit, Wasseraufnahme und verschlechtert alle elektrischen Eigenschaften. Polyester *UP-AS 2311* ist trotz seiner Flexibilität ein Duroplast. Für die Verarbeitung gelten die gleichen Hinweise wie für Polyester *UP-AS 2333*.

2.2.4. UP-AS 2324 (alte Bezeichnung Polyester GG)

Dieser Polyester ist auch eine Lösung des ungesättigten Polyesters in Styrol. Das Produkt ist dem Polyester *UP-AS 2333* in vielen Eigenschaften ähnlich. *UP-AS 2324* ist heller, härter, hat einen höheren E-Modul (3200 N/mm² gegenüber 2000 N/mm²) und weist erheblich bessere elektrische Werte auf. Es ist bis etwa 58 °C wärmeformbeständig. *UP-AS 2324 GG* hat eine Wasseraufnahme von 0,15% (*UP-AS 2333* 0,32%). Auf Grund seiner guten Transparenz wird es in der Industrie zur Herstellung von Flachplatten, Wellplatten und Profilen verwendet.
Für die Kalthärtung steht bei Zusatz von 2% Kobaltbeschleuniger und 2% Cyclohexanonperoxid (50%ig) eine Verarbeitungszeit von 15 bis 20 Minuten zur Verfügung. Nach 24 Stunden, bei Raumtemperatur, kann man auch hier 4 Stunden bei 80 °C nachhärten. Bei der Heißhärtung sollte nicht mehr als 1% Benzoylperoxidpaste (50%ig) zugesetzt werden.

2.3. Polyesterharze im Vergleich mit Epoxidharzen

Da beide Harzarten in der Laminiertechnik Eingang gefunden haben, soll dem Anwender mit Hilfe der Tabelle 2.4. ein Vergleich und damit die richtige Auswahl erleichtert werden.

Tabelle 2.4. Vor- und Nachteile der Polyester- und Epoxidharze

	Polyesterharz	Epoxidharz
Zahl der Komponenten	für die Kalthärtung mindestens drei	zwei
Mischungsverhältnis	ungünstig durch kleine Mengen Peroxid und Beschleuniger	bei Härter 3 kritisch, sonst Verschlechterung der Eigenschaften
Beschleunigung	unbedingt erforderlich	nicht erforderlich, aber möglich
Lichtstabilisierung	UV-stabile Harze werden angeboten [8]	nicht in dem Maße notwendig
Viskosität	niedrig viskos	nur z. T. günstige Viskosität
Volumenschrumpfung	sehr hoch	gering
Chemikalienbeständigkeit	genügend	gut
Oberflächenqualität	nur durch besondere Maßnahmen gut	genügend bis sehr gut
Haftbeständigkeit zu anderen Werkstoffen	genügend bis gut	gut bis sehr gut
Brennbarkeit	schwer entflammbares Harz wird angeboten [8], kann durch spezielle Zusätze verbessert werden	geringe Brennbarkeit, kann durch spezielle Zusätze verbessert werden
Maßhaltigkeit der Teile	gering	gut bis sehr gut
elektrische Eigenschaften	genügend bis gut	gut bis sehr gut
thermische Beständigkeit	je nach Harz genügend bis gut	je nach Harz genügend bis gut, Spezialprodukte sehr gut
Einfärbbarkeit	möglich	möglich
Festigkeit bei dynamischer Beanspruchung	teilweise kritisch	hoch
Arbeitsschutz	erhöhter Arbeitsschutz ist notwendig	
Preis	niedrig	hoch

3. Modifizierung von Klebstoffen, Gieß- und Laminierharzen

3.1. Verdünnungsmittel für Klebstoffe

Die einfachste Art, die Viskosität herabzusetzen, ist, geeignete Verdünnungsmittel zuzusetzen. Bei den reaktionsfähigen Harzen wie den Epoxid-, Polyester-, Acrylatharzen sowie dem Siliconkautschuk ist das nur mit erheblichen Einschränkungen möglich, weil durch den Einschluß des Lösungsmittels die Eigenschaften des Klebfilms zum Teil sehr stark verschlechtert werden. Bei den Epoxid- und Polyesterharzen sollte sich der Anwender um spezielle Produkte bemühen, die seinen Forderungen genügen. Auch bei dem zur Zeit angebotenen Siliconkautschuk ist ein Eingriff in das vorgegebene System nicht sinnvoll. Bei dem angebotenen Acrylat-Harz *Kalloplast R* kann man die Viskosität durch Überdosierung der flüssigen Komponente herabsetzen. Dabei muß allerdings eine Verlängerung der Gebrauchsdauer hingenommen werden. Für die genannten Stoffe gibt es also kein universell einsetzbares Verdünnungsmittel!
Weniger schwierig ist die Verdünnung der Kleblacke und Leime, die nur das richtige Lösungsmittel erfordern. In Tabelle 8.4. sind geeignete Lösungsmittel für solche Klebstoffe genannt, die gleichzeitig auch zur Reinigung verwendeter Geräte benutzt werden können.
Grundsätzlich verarbeitet man Kleb-, Gieß- und Laminierharze möglichst in der Form, wie sie vom Hersteller produziert werden. Wenn schon mit Verdünnungsmitteln gearbeitet werden muß, so sollten es möglichst solche sein, die während der Härtung an der chemischen Reaktion teilnehmen. Fast alle anderen Verdünnungsmittel wandern nach einer gewissen Zeit, insbesondere wenn höhere Temperaturen einwirken, aus dem Gußteil aus.

3.2. Füllstoffe

In der Gießharztechnik und mit Abstrichen auch in der Kleb- und Laminiertechnik besteht das Erfordernis, Harze mit Füll-

Tabelle 3.1. Übersicht über die wichtigsten Füllstoffe

	Dichte $\cdot 10^3$ kg/m^3 (g/cm^3)	Korngröße in mm	Farbe	Einfluß auf die Verarbeitung und Anwendung
Aluminiumpulver	2,6		silbrig	4, 15, 16, 20
Aluminiumgrieß	2,6	1,0	silbrig	3, 4, 9, 11, 20
Aluminiumoxid	4,0		weiß	9, 11, 13
Asbestmehl	2,1 ... 2,8		braun-grau	1, 7, 12
Blanc fixe	4,48		weiß	9
Eisenpulver	7,9	0,06	grau	3, 5, 11, 13, 14, 15, 16, 20
Füllstoff K 60			weiß	1, 2, 10
Glasfasern	2,4 ... 2,6	Länge 1 ... 2	weiß	1, 5, 12, 13, 14
Glimmer	2,65 ... 3,2	0,1	grau	1, 2, 12, 14, 16
Graphit	1,9 ... 2,23	unterschiedlich	schwarz	4, 7, 16, 20
Holzmehl	0,35 ... 1,03			1, 4, 7
Kaolin	2,1 ... 2,6	0,1	weiß bis gelblich	5, 7, 10, 15, 19
Kreide	1,8 ... 2,7	0,1	weiß bis gelblich	4, 7, 13, 15, 18
Molybdändisulfid	4,62 ... 4,73	unterschiedlich	grau	1, 4, 8, 11, 16
Quarzmehl	2,65	0,06	weiß	3, 5, 9, 11, 17
Quarzsand	2,65	1,0	hell	3, 5, 7, 9, 11
Schiefermehl	2,5 ... 2,7	0,6	gelbgrau	5, 8, 13, 15
Schwerspat	4,25 ... 4,48		schwarz	3, 9, 11, 13, 15
Talkum	2,7 ... 2,8	0,5	weiß	2, 4, 7, 10, 12
Titandioxid	4,2 ... 4,3		weiß	5, 7
Zement	3,1 ... 3,2		grau	7, 11, 15

Bezugnummern zum Einfluß auf die Verarbeitung und Anwendung:

1 starke Erhöhung der Viskosität
2 schwer mischbar
3 besonders schwache Erhöhung der Viskosität
4 gute mechanische Bearbeitbarkeit
5 schlechte mechanische Bearbeitbarkeit
6 beschleunigt kalthärtende Polyester (mit Cyclohexynonperoxid)
7 verzögert kalthärtende Polyester
8 beschleunigt kalthärtende Epoxidharze (mit Härter 3)
9 verzögert kalthärtende Epoxidharze
10 wirkt thixotrop
11 neigt stark zur Sedimentation
12 verhindert Rißbildung

13 verbessert Druckfestigkeit
14 erhöht Schlagbiegefestigkeit
15 erhöht Härte
16 verbessert Gleitverhalten
17 reduziert dielektrischen Verlustfaktor
18 erhöht Dielektrizitätskonstante
19 verbessert Kriechstromfestigkeit
20 erhöht elektrische Leitfähigkeit

stoffen anzureichern. Bei größeren Gießharzmengen läßt sich das relativ teure Harz strecken und die exotherme Reaktion abschwächen. Unter Füllstoffe sollen hier feste, nichtflüchtige, im Harz oder Härter nichtlösliche Stoffe verstanden werden, die dem Harz zugegeben werden können.
Die Aufgabe der Füllstoffe ist sehr unterschiedlich. Es können u. a. mechanische, elektrische, thermische und verarbeitungstechnische Eigenschaften beeinflußt werden. In Tabelle 3.1. werden einige Beziehungen genannt.

3.3. Farbstoffe

Oft besteht in der Kleb-, Gieß- und Laminiertechnik die Forderung, Harze aus technischen oder dekorativen Gründen einzufärben. Da eine nachträgliche Färbung der Oberfläche meist nicht den Vorstellungen entspricht, färbt man die Rohprodukte ein. Industriell werden dafür von den Herstellern solcher Produkte organische oder anorganische Pigmente, seltener lösliche Farbstoffe, eingesetzt.
Zum Einfärben sollten möglichst Farbpasten oder lösliche Farbstoffe verwendet werden. Der Zusatz von Farbpigmenten bereitet technologische Schwierigkeiten, weil es ohne genügende Verreibung auf den dafür notwendigen speziellen Einrichtungen nicht zu einer homogenen Verteilung und damit zu einer Stippenbildung kommt.
Viele Farbstoffe beeinflussen die chemische Reaktion bei der Härtung in der Art, daß sie entweder eine inhibierende oder aktivierende Wirkung ausüben. Dieser Einfluß kann bei jeder Harz-Härter-Kombination unterschiedlich sein. Das gilt nicht nur im Hinblick auf Abweichungen vom normalen Reaktionsverlauf,

Tabelle 3.2. Farbstoffe für Epoxid- und Polyesterharze

Farbstoff	Menge in %	Löslichkeit	Lichtechtheit Wollskala	Temperaturbeständigkeit in °C
Titandioxid (Rutil)	1,0	unlöslich	8	500
Zinkweiß	5,0	unlöslich	8	500
Lithopone	1,0	unlöslich	vergilbt	
Blanc fixe		unlöslich	8	400
Cadmiumgelb	0,1	unlöslich	7 ... 8	600
Chromgelb	0,1	unlöslich	3 ... 4	160
Eisenoxidgelb	0,5	unlöslich	8	160
Sudangelb		löslich	7 ... 8	
Wofanolechtgelb		löslich		200 ... 250
Eisenoxidrot	0,5	unlöslich	8	500
Cadmiumrot	0,1	unlöslich	8	600
Gummirot		unlöslich		
Sudanrot		unlöslich		
Wofanolechtrot		löslich		200 ... 250
Ultramarin	0,1	unlöslich	8	300
Manganblau		unlöslich		
Berliner Blau		unlöslich	7 ... 8	140
Chromgrün	0,05	unlöslich	6 ... 7	160
Gummigrün		löslich		
Eisenoxidbraun		unlöslich	8	220
Eisenoxidschwarz		unlöslich	8	120
Ruß		unlöslich	8	300
Graphit		unlöslich		
Sudanschwarz		löslich		

sondern auch in bezug auf den späteren Farbton sowie auf solche Eigenschaften, deren Zahlenwerte für die Anwendung von besonderer Bedeutung sind. So werden die elektrischen Eigenschaften der Harze z. B. durch Metallpulver, Ruß und Graphit sehr stark beeinflußt. Eine Übersicht über Nerchauer Farbstoffe für Harze enthält Tabelle 3.2. Nerchauer Polyestereinfärbpasten eignen sich für Polyester- und Epoxidharze. Die verschiedenen Farbtöne gibt Tabelle 3.3. wieder. Eine Übersicht über Polyurethanfarbpasten enthält Tabelle 3.4. Diese Farbpasten eignen sich außerdem für Epoxid-, Polyester und Akrylatharze. Bei der Anwendung der Pasten wird empfohlen, diese mit dem jeweiligen Harz im Verhältnis 1:1 bis 1:5 zu verdünnen, bevor sie dem Harz-Härter-Gemisch oder auch nur dem Harz zugesetzt werden.

Tabelle 3.3. Polyesterfarbpasten des *VEB Farbenfabrik Nerchau*

Bezeichnung	Menge in %	Löslichkeit	opak/transparent	Lichtechtheit
NPF 02 Gelb	0,2	löslich	transparent	8
NPF 04 Rot	0,2	löslich	transparent	7
NPF 06 Blau	0,2	löslich	transparent	8
NPF 08 Grün	0,2	löslich	transparent	8
NPF 15 Weiß	7	unlöslich	opak	8
NPF 25 Gelb	5	unlöslich	opak	8
NPF 28 Gelb, rötlich	5	unlöslich	opak	8
NPF 29 Oker	5	unlöslich	opak	8
NPF 39 Orange	5	unlöslich	opak	8
NPF 45 Rot	5	unlöslich	opak	7
NPF 49 Rotbraun	5	unlöslich	opak	8
NPF 57 Dunkelbraun	5	unlöslich	opak	8
NPF 62 Hellblau	5	unlöslich	opak	8
NPF 65 Blau	5	unlöslich	opak	8
NPF 68 Dunkelblau	5	unlöslich	opak	8
NPF 71 Graugrün	5	unlöslich	opak	8
NPF 73 Türkisgrün	5	unlöslich	opak	8
NPF 75 Grün	5	unlöslich	opak	7
NPF 77 Olivgrün	5	unlöslich	opak	8
NPF 78 Dunkelgrün	5	unlöslich	opak	8
NPF 85 Grau	5	unlöslich	opak	8
NPF 95 Schwarz	5	unlöslich	opak	8

Tabelle 3.4. Polyurethanfarbpasten

Farbton	Zusatzmenge in % bezogen auf die A-Komponente (Polyolkomponente)
Oxidgelb	2 ... 10
Gelb	2 ... 10
Rot	1 ... 10
Blau	1 ... 10
Grün	2 ... 10
Schwarz	1 ... 10

4. Klebtechnik

4.1. Kriterien zur Klebstoffauswahl

Häufig wird die Meinung vertreten, daß es zwar einige Klebstoffe gibt, die man auch einmal ausprobieren sollte, die aber im Ergebnis doch recht unbefriedigend sind. Dabei ist es mit dem Kleben ähnlich wie bei anderen Fügeverfahren: Macht man an irgendeiner Stelle Fehler, stellt sich der erhoffte Erfolg nicht ein.
Mit der Klebstoffauswahl wird praktisch die Grundlage für das spätere Ergebnis gelegt. Folgende Kriterien und Einflüsse sollten Berücksichtigung finden:

- Einflüsse vom Fügeteil
  Molekularer Aufbau, Benetzbarkeit, Löslichkeit, Eigenspannungen, Beschaffenheit der Oberfläche, sonstige mechanische, thermische und chemische Einflüsse sowie die Alterungsbeständigkeit;
- Kriterien des Klebstoffs
  Molekularer Aufbau, Benetzungsfähigkeit, Klebstoffbestandteile, rheologisches Verhalten, Schrumpfung, Schichtdicke, Transparenz, Haftfähigkeit;
- Betriebs- und Umwelteinwirkungen
  Art und Größe der Beanspruchung in mechanischer, chemischer, biologischer, thermischer oder klimatischer Art, konstruktive Gestaltung.

Gegenüber dem Schweißen, Schrauben und Nageln weist das Kleben eine Reihe von Vor- und Nachteilen auf, die hier kurz angedeutet werden sollen.
Nachteile:

- Wärme- und teilweise Witterungsempfindlichkeit;
- unter Umständen hoher Aufwand bei der Oberflächenvorbereitung und -behandlung;
- relativ lange Verfestigungs- bzw. Härtungszeiten;
- die Arbeit erfordert je nach Kompliziertheit eine Qualifikation;
- Schälkräfte sind durch konstruktive Maßnahmen zu vermeiden;
- teilweise ist eine gute Be- und Entlüftung des Arbeitsraumes notwendig;

Vorteile:
- Es können unterschiedliche Werkstoffe verbunden werden;
- die Spannungsverteilung erfolgt auf große Flächen;
- der Verbund ist dicht und kann elektrisch isolierend ausgeführt werden;
- der Aufwand ist relativ gering.

Mit dieser Gegenüberstellung soll darauf hingewiesen werden, daß haltbare Klebverbindungen nur dann erhalten werden, wenn bestimmte Voraussetzungen erfüllt sind.

4.2. Oberflächenbehandlungen

Nur in den seltensten Fällen sind die Oberflächen der Fügeteile so gestaltet und beschaffen, daß man sie sofort für eine Klebverbindung verwenden kann. Da eine gute Benetzung jedoch die Grundlage für jede Klebverbindung ist, müssen die Oberflächen vorbereitet werden. Laut TGL 24 006 gehören dazu: Säubern, Anpassen und Entfetten der Klebflächen. Eine Erhöhung der physikalisch-chemischen Reaktionsfähigkeit der Klebflächen durch Vergrößern und Aktivieren der Oberflächen mit mechanischen, chemischen oder elektrochemischen Verfahren ist ebenfalls Voraussetzung, um eine gute Benetzung zu gewährleisten. In der Praxis sieht das so aus, daß die Fügeteile möglichst gut zusammenpassen sollen. Deshalb müssen Farbe, Rost und andere Fremdkörper entfernt werden. Danach sind die Fügeteilflächen durch Biegen, Feilen oder andere Maßnahmen einander anzupassen. Je nach Art der späteren Belastung ist eine gute Entfettung erforderlich, auch wenn einige Autoren anderer Auffassung sind [11], [12]. Als Entfettungsmittel eignen sich organische Lösungsmittel wie Aceton, Methylenchlorid, Trichlorethylen (Tri), Tetrachlorkohlenstoff (Tetra), Perchlorethylen (Per). Außerdem lassen sich auch starke, z. T. alkalische Reinigungsmittel wie P3, Imi, Gr-pural und ähnliches als wäßrige Lösung verwenden. Tabelle 4.1. gibt eine Übersicht, welches Lösungsmittel sich für welche Werkstoffe eignet. Wie aus der Übersicht ersehen werden kann, sind beim Aluminium die chlorierten Kohlenwasserstoffe als unzweckmäßig eingeordnet worden, weil sie zu Reaktionen mit diesem Werkstoff neigen, die unter ungünstigen Bedingungen sehr spontan verlaufen können. An-

Tabelle 4.1. Lösungsmittel für Reinigungszwecke

Werkstoff	Alkalischer Reiniger	Aceton	Methylenchlorid	Tetra	Tri	Per	Äthanol	Äthylacetat
Eisen/Stahl	0	+	+	+	+	+	—	+
Aluminium	—	+	0	0	0	0	—	+
Messing/Kupfer	+	+	+	+	+	+	—	+
Glas	+	+	+	+	+	+	+	+
Keramik	+	+	+	+	+	+	—	+
Beton	+	0	+	+	+	+	—	0
Gummi	+	+	0	0	0	0	+	+
PVC-H/-W	+	—	—	—	—	—	+	0
PMMA	+	—	—	—	—	—	+	0
Polystyrol	+	—	—	—	—	—	+	0
Polyester	—	+	+	+	+	+	+	+
Polyäthylen	+	+	—	—	—	—	+	+
Polypropylen	+	+	—	—	—	—	+	+
Phenoplaste	+	+	+	+	+	+	+	+
Aminoplaste	+	+	+	+	+	+	+	+
Celluloseacetat	—	—	0	0	0	0	+	–
Polyurethane	+	+	+	+	+	+	+	+
Epoxidharze	+	+	+	+	+	+	+	+

\+ gut geeignet
0 nicht gut geeignet/unzweckmäßig
— ungeeignet

sonsten sind diese Lösungsmittel, die *G. Kaliske* [9] untersuchte, sehr gute Entfettungsmittel. Beim Entfetten von Plastwerkstoffen ist darauf zu achten, daß das verwendete Lösungsmittel den Werkstoff selbst nicht anlöst. Eine leichte Anquellung schadet nicht und kommt der späteren Klebverbindung, wenn ein Klebläck verwendet wird, nur entgegen.

Die Zeitspanne zwischen dem Entfetten und der weiteren Verarbeitung sollte je nach Klebstoff und zu klebendem Material nicht zu kurz, aber auf keinen Fall zu lang sein. Von Metallen, Glas, Keramik, Beton und den Duroplasten muß das Lösungsmittel restlos verdampft sein.

Kleinere Teile können in das Lösungsmittel eingetaucht werden. Dabei hat es sich als zweckmäßig erwiesen, die Teile in dem Bad zu bewegen, um eine gründliche Entfettung zu erreichen. Größere Gegenstände sind an den Klebstellen mit lösungsmittelgetränk-

tem Zellstoff abzureiben. Die entfetteten Stellen dürfen nicht mit den Fingern berührt werden, da sonst durch Handschweiß, Hautfett oder an den Händen haftendem Schmutz Verunreinigungen auftreten können. Um die reinigende Wirkung zu gewährleisten, ist der Zellstoff nur einmal zu verwenden.

Nach der Oberflächenvorbereitung kann eine Oberflächenvorbehandlung erforderlich sein. Grundsätzlich ist zu bemerken, daß bei vielen Werkstoffen mit der Entfettung der Oberfläche bereits eine ausreichende Oberflächenbehandlung gegeben ist. Je nach Art der Beanspruchung der späteren Klebverbindung reicht unter Umständen auch die mechanische Bearbeitung einer Fläche aus, um eine gewisse Haftung zum Klebstoff zu gewährleisten. Das ist besonders bei Plastwerkstoffen wie Polystyren, PVC und Piacryl der Fall, wenn diese mit einem Kleblack verbunden werden sollen.

Es gibt aber auch Verfahren zur Oberflächenvorbehandlung, die relativ einfach sind und eine beträchtliche Erhöhung der Klebfestigkeit ergeben. Zu solchen einfachen Verfahren gehören einige Methoden der mechanischen Vorbehandlung wie das Schleifen und Bürsten. Als günstige Korngröße hat sich Schleifleinen der Sorte 100 für Metalle bewährt. Die Schleifrichtung soll immer 45° zur Lastrichtung liegen. Eine Aufrauhung durch Schleifen kann man praktisch bei fast allen Werkstoffen durchführen. Duroplaste, die durch herstellungsbedingte Preßhäute eine sehr glatte Oberfläche haben, wie Amino- oder Phenoplaste, bedürfen dieser Vorbehandlung besonders, weil sonst die erzielten Festigkeiten nur gering sind. Geschliffen wird nach dem Entfetten, nicht umgekehrt, da sonst die Festigkeit der Verbindung wieder abnimmt.

Neben der mechanischen Vorbehandlung gibt es eine große Zahl von chemischen und chemisch-physikalischen Vorbehandlungen, die aber nur sehr schwer in der Amateurtechnik realisierbar sind. Neben einem hohen Aufwand bedürfen sie oft großer praktischer Erfahrungen, um die in der Literatur angegebenen Wirkungsgrade zu erzielen.

Neben der Oberflächenvorbereitung und -vorbehandlung ist auch die Oberflächennachbehandlung wichtig. Man versteht darunter die Klimatisierung, das Auftragen von Haftvermittlern und/oder die Konservierung von Klebflächen. In der Amateurtechnik werden weder die Klimatisierung noch das Auftragen von Haftvermittlern auf Fügeteilen große Bedeutung erlangen. Wichtig ist aber die

Konservierung von Klebflächen. Das Bedürfnis dazu wird besonders dann bestehen, wenn viele Einzelteile geklebt und zweckmäßig alle auf einmal vorbehandelt, aber nicht am gleichen Tage verarbeitet werden. Als Konservierungsmittel sind einmal die Klebstoffe selbst teilweise verwendbar. Angenehmer vom technologischen Standpunkt, aber qualitativ nicht so gut, ist die Konservierung durch Überkleben der Flächen mit Klebebändern wie Prenaband oder Prenafol (Tesafilm). Es ist darauf zu achten, daß das Klebeband eng an der Klebfläche anliegt und diese möglichst luftdicht abschließt.

4.3. Werkstofftypische Hinweise

Je nach Art des zu verbindenden Materials und gemäß den späteren Anforderungen werden auch in ihren Eigenschaften sehr verschiedene Klebstoffe zum Einsatz gelangen. Zunächst sind die Gefügestruktur und die sich daraus ableitenden Eigenschaften zu berücksichtigen. Eine solche sich ableitende Eigenschaft ist z. B. die Benetzbarkeit. Der Klebstoff muß dazu in der Lage sein, die Oberfläche der Fügeteile zu benetzen. Bei den meisten Werkstoffen wird, um u. a. die Benetzbarkeit zu verbessern, die Oberfläche vorbehandelt. Weiterhin ist man bestrebt, die Haftfestigkeit des Klebstoffs auf einer Oberfläche zu erhöhen. Die einfachste Art ist die Aufrauhung glatter Oberflächen wie bei Metallen und einigen Plasten, um die Kontaktfläche mit dem Klebstoff zu vergrößern und eine mechanische Verankerung zu begünstigen.

4.3.1. Metalle

Zu den häufigsten Werkstoffen in der Amateurtechnik gehören die Metalle. Sie sind meistens etwas gefettet und haben teilweise an der Oberfläche strukturelle Änderungen durch Oxydation, Erosion oder Korrosion, die einer Klebverbindung entgegenstehen. Neben dem Entfetten sollte deshalb wenigstens eine mechanische Aufrauhung vorgenommen werden.
Mit geeigneten Klebstoffen wie Epoxid- oder Polyesterharzen ist es möglich, nicht nur technisch anspruchslose Verbindungen herzustellen, sondern sowohl Metalle untereinander als auch mit

anderen Werkstoffen kraftschlüssig zu verbinden. Die Klebstoffe haben weiterhin den Vorteil, daß sie meist lösungsmittelfrei sind und selten eine offene Wartezeit benötigen, wie das bei lösungsmittelhaltigen Klebstoffen der Fall ist, wenn nicht Blasen im Klebstoffilm in Kauf genommen werden sollen. In dem Moment, wo wenigstens ein Fügeteilpartner porös ist, lassen sich auch größere Flächen mit lösungsmittelhaltigen Klebstoffen ohne Schwierigkeiten und ohne genaue Beachtung der offenen Wartezeit verbinden. Werden verschiedene Metalle oder Metalle mit anderen Werkstoffen verbunden, dann ist bei eventuell später auftretenden Temperaturbelastungen auf unterschiedliche Ausdehnungskoeffizienten zu achten. Bei spröden Klebstoffen kann sonst infolge starker Temperaturschwankungen die Klebfuge wieder auftrennen.

4.3.2. Plaste

Neben den Metallen gehören die Plastwerkstoffe zu den am meisten eingesetzten Materialien. Da sie nur teilweise geschraubt, genietet, geschweißt oder anders nach herkömmlicher Art verbunden werden können, ist das Kleben heute das wichtigste Verbindungsverfahren — obwohl es auch hier z. B. mit dem Polyethylen oder Polypropylen Ausnahmen gibt.
Da einige Plaste, wie Piacryl und Polystyren, sehr stark zur Spannungsrißkorrosion neigen, sollten besonders komplizierte, stark bearbeitete Formteile vor dem Kleben getempert werden. Dazu sind sie 2 bis 5 Stunden auf 90 bis 100 °C zu erwärmen. Damit sich die Teile nicht verziehen, ist eine gute Auflagefläche erforderlich. Man kann an der Luft, günstiger aber in Wasser oder Öl erwärmen. Wichtig ist, daß der Temperaturanstieg und der spätere Temperaturabfall langsam vor sich gehen.
Die wichtigsten Klebstoffe für thermoplastische Werkstoffe sind die sogenannten Kleblacke. Im allgemeinen reichen eine Säuberung und Entfettung vor dem Klebstoffauftrag aus.

4.3.3. Holz

Das Holz einschließlich der daraus hergestellten Folgeprodukte sind leicht zu bearbeitende Werkstoffe, die sich auch relativ

sicher mit vielen Klebstoffen verbinden lassen. Zweckmäßig sollten dafür bekannte Leime genommen werden, die sich bei den unterschiedlichsten Temperaturen verfestigen. Der Feuchtigkeitsgehalt ist möglichst niedrig zu halten. Bei Normalklima gelagertes Holz läßt sich sehr gut kleben.
Neben den Leimen sind auch teilweise Kleblacke und Reaktionsklebstoffe geeignet. Es ist aber immer darauf zu achten, daß diese Klebstoffe nicht zu spröde sind, da das Holz bei wechselndem Klima arbeitet und damit unter Umständen die Klebverbindung zerstört werden kann.

4.3.4. Glas

Große Schwierigkeiten entstehen oft beim Kleben von Gläsern, insbesondere dann, wenn die Klebverbindungen Feuchtigkeitsbeanspruchungen unterliegen. Hier ist eine gute Vorbehandlung noch wichtiger als bei den Metallen. Für Montageklebungen werden meistens Epoxidharze oder Silikonkautschuk-Klebstoffe verwendet. Letztere haben auch den Vorteil, daß sie bei einer Verbindung mit Werkstoffen anderer Ausdehnungskoeffizienten die Aufgabe einer flexiblen Zwischenschicht übernehmen können. Besonders beim Glas ist darauf zu achten, daß möglichst sofort nach der Oberflächenvorbehandlung die Klebung erfolgt, damit der Klebstoff auf eine trockene und saubere Oberfläche aufgetragen werden kann.

4.4. Ursachen für Fehlklebungen

Wie bei allen anderen Verbindungsverfahren kann auch beim Kleben eine hergestellte Verbindung nicht die gewünschte Festigkeit haben bzw. wieder auseinanderfallen. Man sollte dann weder auf den Klebstoff noch auf dieses Verfahren schimpfen, sondern nach den Ursachen für dieses Versagen suchen.
Nachfolgend wird eine Übersicht über einige mögliche Fehler gegeben:
- Der Werkstoff ist nicht mit dem betreffenden Klebstoff verbindbar.
- Zur Verbindung von Werkstoffen mit sehr unterschiedlichen

Ausdehnungskoeffizienten darf kein spröder Klebstoff eingesetzt werden. Der Klebstoffilm ist etwas dicker auszubilden.
- Die Fügeteile haben nicht zusammengepaßt.
- Die Klebflächen sind nicht von Öl, Schmutz, Oxidschichten und ähnlichem befreit worden.
- Die gereinigten Klebflächen waren noch feucht oder haben zu lange gelegen bzw. sind nach der Vorbehandlung wieder verunreinigt worden.
- Die durch die Schrumpfung des Klebstoffs (besonders bei Methacrylaten und Polyestern) entstandene Schrumpfspannung ist für den Werkstoff zu groß.
- Der Klebstoff hat sich noch nicht ausreichend verfestigt bzw. hat noch nicht abgebunden, die dazu erforderlichen Bedingungen sind nicht eingehalten worden (Druck, Temperatur, Mischungsverhältnis, Zeit).
- Der Klebstoff war überlagert.
- Die Klebkonstruktion weist Fehler auf.

Neben den Fehlern können auch noch andere Mängel auftreten, die aber nicht so häufig vorkommen. Ergänzend sei noch bemerkt, daß alle Arbeitsgeräte sauber sein müssen.

4.5. Hinweise für klebgerechte Konstruktionen

Ähnlich wie das Schweißen, Nieten, Löten, Schrauben usw. bedarf auch die Klebtechnik besonderer konstruktiver Gesichtspunkte, die sich von anderen Verbindungsverfahren erheblich unterscheiden. Die verschiedensten Arten der einwirkenden Kräfte sind in Bild 4.1a bis f dargestellt.

Grundsätzlich kann gesagt werden, daß alle Klebstoffe gegenüber Schälkräften mehr oder weniger empfindlich sind. Handelt es sich um steife, sehr kompakte Werkstücke, dann werden solche Schälkräfte kaum auftreten. Beim Einsatz von Blech oder flexiblen Werkstoffen sind entsprechende Ausbildungen und Gestaltungen erforderlich. Einige Anregungen dazu sollen Bild 4.2 bis Bild 4.6 und Bild 4.8 bis Bild 4.10 geben.

Stärkere bzw. kompaktere Werkstücke können entsprechend Bild 4.7 und Bild 4.11 bis Bild 4.14 verbunden werden. Vom Konstrukteur sollte die Klebfuge möglichst in Richtung der

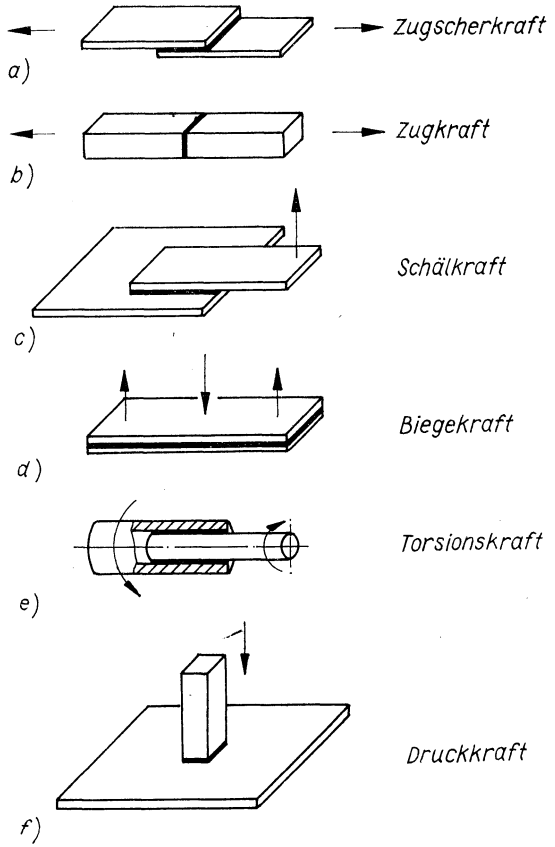


Bild 4.1 Die verschiedenen Krafteinwirkungen auf Klebverbindungen

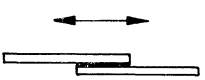


Bild 4.2
Einschnittig überlappte Verbindung, Verbindung sehr einfach, für Plast- und Blechkonstruktionen geeignet, durch exzentrische Belastungen können Biegemomente bei dünnen Teilen auftreten

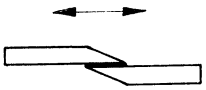


Bild 4.3
Einschnittig überlappte abgeschrägte Verbindung; günstigere Kraftübertragung als bei Bild 4.2, aber aufwendiger, besonders für Metalle geeignet

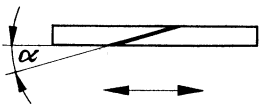


Bild 4.4
Geschäftete Flachverbindung; sehr aufwendige Vorbereitung, stärkere Blech- oder Plastteile Voraussetzung, sehr gute Kraftübertragung mit kleiner werdendem Winkel

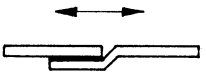


Bild 4.5
Überlappung mit einfacher Sicke; für Blech-Blech-Kombinationen gute Verbindung

Bild 4.6
Überlappung mit doppelter Sicke; ebenfalls für Blech-Blech-Kombinationen bevorzugt geeignet, noch bessere Spannungsverteilung als bei Bild 4.5

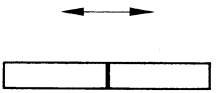


Bild 4.7
Stumpfstoß-Verbindung; selten angewandt, nicht zur Übertragung von Kräften geeignet, zu kleine Klebfläche

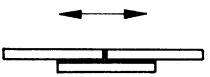


Bild 4.8
Einschnittig gelaschte Verbindung; weniger für größere Kraftübertragungen durch exzentrische Belastungen geeignet

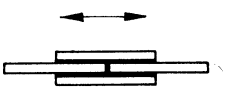


Bild 4.9
Zweischnittig gelaschte Verbindung; sehr gute Kraftübertragung durch symmetrischen Kraftverlauf, auch für dynamische Beanspruchungen geeignet

Bild 4.10
Zweischnittig gelaschte Verbindung mit abgeschrägten Laschen; beste Spannungsverteilung, aber sehr hoher Aufwand, wenn keine fertigen Profile zur Verfügung stehen

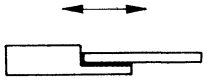


Bild 4.11
Abgesetzte einschnittig überlappte Verbindung; für größere Kraftübertragungen ungeeignet, sonst häufig angewandt

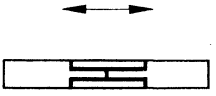


Bild 4.12
Abgesetzte zweischnittig überlappte Verbindung; sehr gute Spannungsverteilung, hoher Aufwand, wenig angewandt, Voraussetzung sehr massive Teile

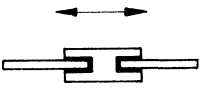


Bild 4.13
Nutverbindung, gerade; für Plast-Metall-Kombinationen besonders geeignet, weniger für große Kraftübertragungen

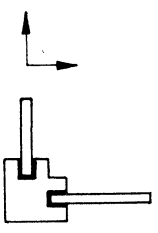


Bild 4.14
Nutverbindung, winklig; ebenfalls für Plast-Metall-Kombinationen bevorzugt geeignet, ohne Profilleiste hoher Aufwand

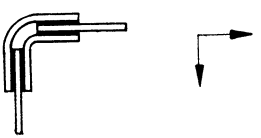
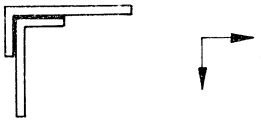


Bild 4.15
Doppelt versteifte Winkelverbindung; für Blechkonstruktionen, gute Stabilität



Bi d 4.16
Überlappte Winkelverbindung; bevorzugt für Blechkonstruktionen geeignet, gute Stabilität

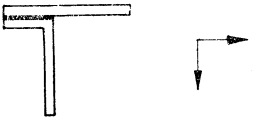


Bild 4.17
Einfache Winkelverbindung; für Blechkonstruktionen, wenig stabile Ausführung

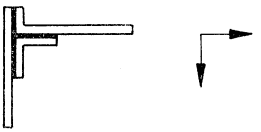


Bild 4.18
Verstärkte Winkelverbindung; bevorzugt für Blechkonstruktionen, gute Stabilität

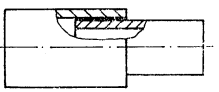
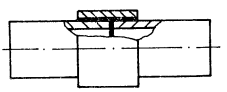


Bild 4.19
Überlappte Rundverbindung; einfache, für Kraftübertragungen geeignete Verbindung

Bild 4.20
Überlappte Rundverbindung mit Außenmuffe; gebräuchliche Form der Rundverbindung, auch zur Übertragung größerer Kräfte gut geeignet, strömungstechnisch sehr günstig, kann auch mit Innen- sowie Innen- und Außenmuffe hergestellt werden



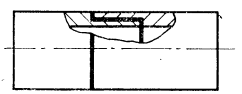


Bild 4.21
Abgesetzte Rundverbindung; strömungstechnisch günstig, gute Kraftübertragung

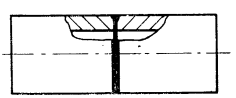


Bild 4.22
Stumpfe Rundverbindung; für Kraftübertragungen nicht geeignet

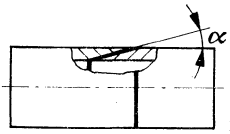


Bild 4.23
Geschäftete Rundverbindung; gute Kraftübertragung mit kleiner werdendem Winkel α, sehr aufwendig

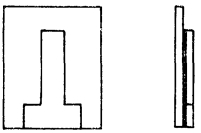


Bild 4.24
Klebflächenvergrößerung; einfach, geringe Wirkung

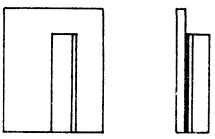


Bild 4.25
Verwendung von biegesteifen Profilen; sehr gute Wirkung

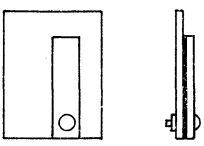


Bild 4.26
Schraubensicherung; sichere Konstruktion, anstatt Schraube ist auch Niet oder Schweißpunkt möglich

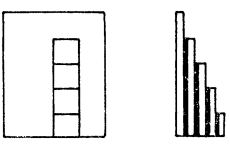


Bild 4.27
Lokale Versteifung; bedingt Materialanhäufung

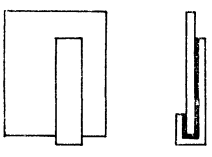


Bild 4.28
Umgebördelter Rand; für Blechkonstruktionen bevorzugt

Kraftlinie laufen, um die wirkenden Kräfte als Schub- oder Scherkräfte zu erhalten.
Schwieriger ist die Situation bei der Ausbildung von Ecken. Dabei sind starkwandige Teile einfacher zu handhaben als dünnwandige. Bild 4.15 bis Bild 4.18 zeigen Möglichkeiten zur Ausbildung und Verstärkung von Kanten und Ecken.
Konstruktiv günstig sind überlappte Rundverbindungen, wie in Bild 4.19 und Bild 4.20 dargestellt, da durch die Ineinanderfügung der Teile Schälkräfte ausgeschlossen werden und der geschlossene Klebstoffilm Torsions-, Zug- und Schubkräfte sehr gut aufnehmen kann. Rundlingspaarungen können aber auch auf andere Art, wie in Bild 4.21 bis Bild 4.23 dargestellt, gestaltet werden. Die Klebfugendicke sollte nicht über ein Maximum von 0,1 mm hinausgehen, da mit wachsender Klebfugendicke schwer kontrollierbare Nebenkräfte wirken können.
Nicht in jedem Fall ist es möglich, auftretende Schälkräfte zu vermeiden. In Bild 4.24 bis Bild 4.28 sind fünf Möglichkeiten zur Vermeidung angedeutet, die sich ohne Probleme übernehmen lassen.
Über sonstige Plast-, Metall- und Blechkonstruktionen sowie Profilwerkstoffe kann in der einschlägigen Literatur nachgelesen werden [2], [7], [8], [13].
Es besteht auch die Möglichkeit, Klebverbindungen zu berechnen. Leider ist es zu aufwendig, um an dieser Stelle darauf einzugehen. Als Grundlage sollte sich der Interessierte mit der entsprechenden Literatur beschäftigen [2], [3], [4], [7], [8], [13].

5. Gießtechnik

5.1. Kriterien zur Gießharzauswahl

Bevor ein Bauelement elektrischer oder mechanischer Art vergossen wird, muß man sich darüber in klaren sein, welche Aufgabe das Harz dabei erfüllen soll. Dementsprechend sind sowohl vom ungehärteten als auch vom später gehärteten Harz be-

Tabelle 5.1. Kriterien zur Wahl des Gießharzes

	Epoxid-harz	ungesättigter Polyester	Acrylat-harz
im Kleinhandel erhältlich	teilweise	teilweise	nein
Preis	hoch	niedrig	hoch
gesundheitsschädigend	stark	mäßig	mäßig
allgemeine Handhabung	kompliziert	etwas einfacher	einfach
Härtezeiten	länger	kürzer	kürzer
Viskosität der Grundharze	höher	niedriger	höher
Einarbeiten von Füllstoffen	gut möglich	möglich	bedingt möglich
Schrumpfung	sehr gering	stark	sehr stark
gehärtete Oberfläche	trocken	durch bestimmte Zusätze fast trocken	trocken
Haftfestigkeit zu anderen Werkstoffen	sehr gut	unterschiedlich	gut
Beständigkeit gegen alkalische Medien	gut	unbeständig	gut
Beständigkeit gegen saure Medien	gering	genügend	genügend
thermische Beständigkeit	gut bis sehr gut	gut	gut
Entformung	schwierig	relativ leicht	relativ leicht
Elektrische Eigenschaften	sehr gut	gut	sehr gut
Maßhaltigkeit der Gußteile	gut bis sehr gut	gering	gering
Festigkeit bei statischer und dynamischer Beanspruchung	sehr gut	gut	genügend

stimmte Forderungen zu erfüllen. In Tabelle 5.1. werden die spezifischen Eigenschaften und sonstigen Kriterien der Harze noch einmal verbal gegenübergestellt, um so die Auswahl zu erleichtern.
Die in der Übersicht dargestellten Eigenschaften lassen sich durch den Zusatz von Füllstoffen und Modifizierungsmitteln entscheidend abändern. Die Übersicht geht nur von den reinen bzw. vom Hersteller fertig hergestellten Erzeugnissen aus. Bei der Auswahl sollten nicht nur technische Parameter sondern auch die Beschaffbarkeit, die Gesundheitsgefährdung bzw. der erforderliche Arbeitsschutz und ökonomische Gesichtspunkte in die Überlegungen einbezogen werden.

5.2. Gestaltung zu gießender Formteile

Ähnlich wie bei den klassischen Werkstoffen gibt es auch für Plastwerkstoffe bestimmte Konstruktionsregeln, die die typischen Eigenschaften berücksichtigen.
Die einfachsten Formteile sind Platten, Würfel, Zylinder u. ä. ohne jede Unebenheit. In der Praxis werden meist recht komplizierte Teile benötigt, die sich nur mit entsprechenden technischen Hilfsmitteln herstellen lassen.
Einfache Formgebung wählt man im allgemeinen beim Einbetten von Bauelementen. Es kommt hier insbesondere darauf an, eingebettete Teile gegen schädigende Einflüsse der Umgebung zu schützen, also mit einer starken Schicht zu umgeben. Wenn sich das Bauteil für den Verguß schlecht aufhängen läßt, kann man auch in zwei Schichten gießen. Auf die erste schon teilweise gehärtete Schicht wird das Bauteil gestellt und mit einem zweiten Guß eingebettet. Bei Epoxidharzen kann die erste Schicht ausgehärtet, bei Polyesterharzen darf sie nur angehärtet sein, da sonst keine ausreichende Verbindung der beiden Güsse entstehen.
Beim Umhüllen, Ausgießen und Imprägnieren entfallen besondere konstruktive Hinweise. Man benötigt keine Werkzeuge, aber Vorrichtungen zur Erleichterung der Arbeit. Am kompliziertesten ist es, Gußteile herzustellen, die eine bestimmte mechanische Aufgabe erfüllen müssen und entsprechend den konstruktiven Gegebenheiten eine komplizierte Gestalt aufweisen.

5.2.1. Allgemeine Hinweise

Je nach Art und Größe der Beanspruchung ist das Harz und, wenn zweckmäßig, Füllstoff, Verdünnungsmittel u. a. auszuwählen. Da die Eigenschaften der Harze stark variieren können, gibt es auch in der Konstruktion viele Besonderheiten. Spezielle Hinweise können der Fachliteratur [2], [8], [13], [16] entnommen werden.

Trotzdem gibt es einige Punkte, die allgemein Gültigkeit haben und näher betrachtet werden sollen. Grundlage für diese Hinweise bildet die TGL 17 448, Blatt 4, 6, 7, 8, 9 und 10. Für jedes Formteil gilt:

- Massenanhäufungen zu vermeiden oder die Anhäufungen nur so groß zu wählen, wie es die Technologie des verwendeten Harzes erlaubt (Erwärmung, Schrumpfung);
- die Gestaltung möglichst einfach zu halten und vor allem Hinterschneidungen und möglichst auch Löcher und Schlitze zu vermeiden;
- keine scharfen Ecken oder Kanten zu bilden, da die Harze eine unterschiedliche Spannungsrißkorrosionsempfindlichkeit aufweisen, die dadurch erhöht wird.

5.2.2. Neigungen

Um Teile aus dem Werkzeug einfach entformen zu können, sind Neigungen in Öffnungsrichtung des Werkzeugs und in Ausdrückrichtung des Formteils erforderlich. Durch die Klebwirkung und das Schrumpfverhalten der Harze wird sonst eine Entformung schwierig und manchmal fast unmöglich. Das gilt insbesondere für größere unregelmäßige Flächen. Aber auch Aussparungen, Durchbrüche, Löcher und Schlitze sollten zur leichteren Entformung Aushebeschrägen erhalten.

Bei der Gestaltung ist die Schrumpfung des ausgewählten Harzes zu berücksichtigen. Je höher diese ist, desto größer müssen die Neigungswinkel der in der Schrumpfrichtung liegenden Flächen sein.

5.2.3. Hinterschneidungen

Grundsätzlich sollte man alle Arten von Hinterschneidungen vermeiden. Vielfach können sie durch entsprechend zu gestaltende Formteile umgangen werden. Einige Hinweise dazu gibt die TGL 17 448, Blatt 4. Ist eine Hinterschneidung nicht vermeidbar, dann wird es dem Amateur in den meisten Fällen nicht gelingen, dieses Teil durch Gießprozesse herzustellen. Werden nur ein oder zwei Exemplare benötigt, so ist es oft einfacher, durch spanende Formgebung das Teil aus einem Halbzeug herzustellen.

5.2.4. Abrundungen

Wie bereits in Abschnitt 5.2.1. angedeutet, sind bei allen Plastformteilen scharfe Ecken oder Kanten zu vermeiden. Bild 5.1 zeigt, daß durch Abrundungen die Gefahr der Lunkerbildung besonders bei etwas dickflüssigeren Harzen herabgesetzt wird. Weiterhin werden die Spannungen im Formteil verringert, die Kerbschlagempfindlichkeit und Spannungsspitzen an Ecken und Kanten mechanisch belasteter Teile herabgesetzt. Durch die bessere Kraftübertragung kann man eine Erhöhung der Formbeständigkeit kappenförmiger Formteile erreichen.
Die zu wählenden Radien sind abhängig vom Werkstoff und von der geometrischen Lage der Kante oder Ecke. In Tabelle 5.2. werden die wichtigsten Mindestradien für Epoxid- und Polyesterharze angegeben.
Allgemein gilt: Je spröder ein Werkstoff ist, um so größer müs-

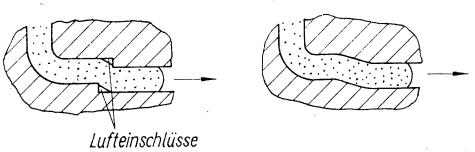


Bild 5.1 Umgehen von Lufteinschlüssen durch Vermeidung scharfer Kanten und Ecken

Tabelle 5.2. Mindestradien für Epoxid- und Polyesterharzgießteile

	Mindestradius in mm
Innenkanten, die in Ecken auslaufen	1,0
Innenkanten, die nicht in Ecken auslaufen	0,6
Außenkanten und Ecken	1,0 ... 2,0 je nach Harz

sen die Radien an Ecken und Kanten sein. Bei Augen und Rippen gelten andere Maßstäbe, auf die später noch eingegangen wird. Für Formteile, die mechanisch beansprucht werden, gelten nach TGL 17 448, Blatt 4, zur Vermeidung von Spannungsspitzen bei Innenkanten folgende optimale Verhältnisse: $R = 0{,}6 \cdot s$ (R = Radius, s = Wandstärke). Bei einem angenommenen Formteil mit einer belasteten Wand der Dicke $s = 3$ mm soll der Innenradius $0{,}6 \cdot 3$, also 1,8 mm betragen. Bei abgerundeten Kanten an Winkeln und Ecken ist es besser, ebenfalls eine Verstärkung der Wanddicke im Knick vorzunehmen, wie in der vorher zitierten TGL 17 448 erwähnt und in Bild 5.2 dargestellt. Für Wanddicken zwischen 2 mm und 4 mm gilt: $s_2 = s_1 + 1$ mm. Die Ecke ist also 1 mm stärker als die beiden Schenkel.
Ansonsten sollten die Wandstärken eines Gießlings möglichst gleich sein, um eine gleichmäßige Härtung zu gewährleisten und innere Spannungen, Lunkern und abnorme Maßungenauigkeiten zu vermeiden.

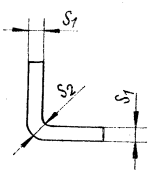


Bild 5.2
Dickenverhältnis zwischen Wand und Knickstelle

5.2.5. Löcher, Schlitze, Durchbrüche, Aussparungen

Da in der Amateurtechnik die Ausrüstung und Ausstattung zur Werkzeugherstellung doch gewissen Beschränkungen unterliegt, sollten Löcher, Schlitze, Durchbrüche und Aussparungen mechanisch in Halbzeuge eingearbeitet werden. Das gilt besonders für Durchgangs- und Sacklöcher, die sich bei sinnvoller Harzauswahl, d. h. bei nicht zu spröden und nichtabrasiven Füllstoffen, auch ohne Schwierigkeiten einbringen lassen.
Die Löcher selbst sollten einen ausreichenden Abstand vom Rand aufweisen. Werden Schrauben eingezogen, dann sind Zylinderschrauben den Senkschrauben vorzuziehen.
Auch Schlitze und Durchbrüche sind möglichst spangebend nachzuarbeiten. Tiefe Löcher, d. h. solche, bei denen die Tiefe etwa dem drei- bis fünffachen Durchmesser (je nach Härte des gehärteten Harzes) entspricht, sollten abgesetzt werden. Weitere Einzelheiten sind der speziellen Literatur [8] zu entnehmen.

5.2.6. Einbetten von Metallteilen

Die Einbettung von Metallteilen kann aus zwei Gründen erfolgen:
a) als Befestigungselement zur Kraftübertragung, z. B. Muttern, Schrauben, Bolzen;
b) zum Schutz gegen starke mechanische Beanspruchungen an besonders gefährdeten Stellen, wie sie bei Werkzeugen auftreten können.

Tabelle 5.3. Lineare Ausdehnungskoeffizienten einiger Werkstoffe

kalthärtende Epoxidharze	$(8{,}0 \ldots 10{,}0) \cdot 10^{-5}\ \mathrm{grd}^{-1}$
heißhärtende Epoxidharze	$(5{,}0 \ldots 7{,}0) \cdot 10^{-5}\ \mathrm{grd}^{-1}$
kalthärtende Polyesterharze	$(8{,}0 \ldots 10{,}0) \cdot 10^{-5}\ \mathrm{grd}^{-1}$
heißhärtende Polyesterharze	$(10{,}0 \ldots 15{,}0) \cdot 10^{-5}\ \mathrm{grd}^{-1}$
Polyacrylate	$(7{,}0 \ldots 8{,}0) \cdot 10^{-5}\ \mathrm{grd}^{-1}$
Aluminium	$(2{,}3 \ldots 2{,}4) \cdot 10^{-5}\ \mathrm{grd}^{-1}$
Stahl	$(1{,}0 \ldots 1{,}6) \cdot 10^{-5}\ \mathrm{grd}^{-1}$
Kupfer	$1{,}4 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{grd}^{-1}$
Messing	$1{,}8 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{grd}^{-1}$

Beide Beweggründe erfordern praktische Erfahrungen. Da der Wärmeausdehnungskoeffizient zwischen Metallen und den hier beschriebenen Harzen sehr unterschiedlich ist (Tabelle 5.3.), dürfen die Harze nicht zu spröde sein. Die Wandstärken müssen auf Grund des Schwundes ausreichend gewählt werden, damit keine Risse auftreten können und sich eingelegte Verstärkungen bei thermischer Beanspruchung nicht lösen.

Allgemein gilt für Befestigungselemente, daß sie dicht eingebettet sein sollen, damit der Plastwerkstoff die durch Temperaturschwankungen und die durch Krafteinleitung entstehenden Spannungen aufnehmen kann. Daraus folgt, daß sich Metallteile nicht zu dicht am Rand oder zu nahe an der Oberfläche befinden dürfen. Zur besseren Haltung sollten die Teile eine grobe Struktur (z. B. Vierkant) aufweisen. An hochbeanspruchten Stellen kann es erforderlich sein, eine Verstärkung besonders an Ecken und Kanten anzubringen. Im Prinzip gelten hier ähnliche Gesichtspunkte wie bei den Befestigungselementen. Neben den Spannungen, die durch unterschiedliche Ausdehnungskoeffizienten entstehen, sollte das Harz zum Metall ein gutes Haftvermögen aufweisen, um einwirkende Kräfte gleichmäßiger übertragen zu können. Die Differenz der Ausdehnungskoeffizienten zwischen Harz und Metall sollte so gering wie möglich sein. Harze mit hohem Füllstoffgehalt sind schon aus diesem Grund anderen vorzuziehen.

Nähere Einzelheiten können aus der TGL 17 448, Blatt 6, und aus der übrigen Fachliteratur [8], [13], [16] ersehen werden.

5.3. Werkstoffe für den Werkzeugbau

In der industriellen Fertigung und auch in der Amateurtechnik wird man bemüht sein, den Aufwand im Werkzeugbau möglichst niedrig zu halten. Zwischen der Kontur des Formteils, der Zahl der Abgüsse, dem Aufbau des Werkzeugs und dem verwendeten Werkstoff besteht ein enger Zusammenhang.

Grundsätzlich ist jedes Werkzeug vor der Benutzung mit einem Trennmittel zu versehen, da es sonst, besonders beim Gießen von Epoxidharzen, zum Ankleben kommt. Einzelheiten dazu sind in Abschnitt 5.5. nachzulesen.

5.3.1. Metalle

Nur bei einfachen zu gießenden Körpern aus heißhärtenden Harzen ist es unter Umständen zweckmäßig, Metalle als Formenwerkstoff zu verwenden. Das gilt auch für die Einbettung von Bauteilen sowie für das Ausgießen oder Umhüllen von Teilen. Metallformen gestatten eine originalgetreue Nachbildung des gegossenen Teils, haben aber den Nachteil, in der Bearbeitung recht aufwendig zu sein. Durch die gute Wärmeleitung der Metalle kommt es besonders bei warm- und heißhärtenden Harzen zu einer gleichmäßigeren Wärmeübertragung bei der Härtung und damit zu weniger Spannungen im gegossenen Teil.

Neben Eisen- werden auch oft Aluminiumformen benutzt, die zwar empfindlicher, aber auch leichter zu bearbeiten sind. Wichtig ist, daß die Metalloberflächen, die mit dem Gießharz direkt in Berührung kommen, glatt sind. Bei Eisenmetallen reicht bei nicht zu hohen Forderungen ein Polieren, bei Aluminium sollte die Oberfläche außerdem eloxiert sein. Da der Amateur diesen Forderungen aber nur sehr schwer nachkommen kann, empfiehlt es sich, leichter bearbeitbare Werkstoffe zu verwenden.

5.3.2. Holz

Zu den am einfachsten zu handhabenden Werkstoffen gehört Holz. Für den Werkzeugbau sollte man Holz nur dann einsetzen, wenn kalthärtbare Harze zum Einsatz gelangen. Harthölzer wie Buche und Eiche sind anderen Sorten vorzuziehen. Es ist darauf zu achten, daß keine Hölzer verwendet werden, die einen hohen Anteil Baumharz enthalten (sogenannte kienige Hölzer), da diese Harze den Härtungsprozeß der Gießharze beeinflussen können, auf jeden Fall aber die elektrischen Isolationswerte negativ beeinflussen (besonders bei feuchter Wärme).

Nachdem die Holzteile entsprechend den Forderungen zugeschnitten wurden, ist es erforderlich, die Poren zu versiegeln, da sonst das Gießharz dort eindringen könnte und einen kaum lösbaren Verbund ergibt. Als Siegelmasse eignet sich Zaponlack oder ein Epoxidharzlack, der eventuell nach folgenden Rezepturen selbst hergestellt werden kann:

100 MT Epilox EGK 19		100 MT Epilox EG 34
20 MT Äthylacetat, Aceton oder Toluol		25 MT Äthylacetat, Aceton oder Toluol
10 MT Füllstoff K 60		10 MT Füllstoff K 60
45 MT Härter 8	oder	60 MT Härter 8

Um eine glattere Oberfläche und damit leichtere Entformung zu erreichen, empfiehlt es sich, 2 oder 3 Anstriche vorzunehmen. Nach 48 Stunden ist der Lack soweit getrocknet, daß die Form benutzt werden kann. Die einzelnen Teile der Form können für 2 oder 3 Abgüsse mit Holzschrauben (mit möglichst grobem Gewinde) zusammengehalten werden. Bei höheren Abgußzahlen sind die einzelnen Teile besser mit Durchgangslöchern auszustatten und mit üblichen Maschinenschrauben und Unterlegscheiben unter den Muttern auszurüsten. Besonders bei Holzformen ist auf eine gute Paßgenauigkeit der einzelnen Teile und damit gute Abdichtung der Form zu achten.

5.3.3. Gips

Bisher wurden feste Werkstoffe zur Herstellung von Formen vorgestellt. Ihre Vorteile liegen in der schnelleren Fertigstellung geometrisch einfacher Werkzeuge. Schwieriger ist es, geometrisch kompliziertere Teile aus Gießharzen herzustellen. In der Praxis hat sich die Verwendung härtbarer flüssiger Massen gut bewährt:

- Man fertigt zunächst ein Modell des Originalteils an. Der zu verwendende Werkstoff hat dabei eine untergeordnete Bedeutung, muß aber den Verfestigungs- bzw. Härtungsbedingungen ohne Deformierung oder Abspaltung flüchtiger oder fester Produkte standhalten.
- Das Modell wird in eine Rahmenform gelegt, die nur die Aufgabe hat, eine Begrenzung für die Werkzeuggießmasse, z. B. Gips, zu bilden. Zweckmäßigerweise besteht die Rahmenform aus vier Seitenwänden und Boden. Das Modell sollte zur besseren Fixierung am Boden mit einem Klebstoff geringer Haftung oder Eigenfestigkeit leicht angeklebt oder anderweitig durch Verstiftung angeheftet werden.
- Modell und Rahmenform werden an den Stellen, an denen sie von der Werkzeuggießmasse berührt werden, mit einem Trennmittel zur leichteren Entformung eingestrichen.

- Der Verguß wird durchgeführt, die Masse härtet und kann nach entsprechender Festigkeitsannahme entformt werden.
- Die Poren der Gipsform sind ähnlich wie bei Holzwerkzeugen zu versiegeln. Neben den dort genannten Klebstoffen kann auch ein mehrmaliger Anstrich mit Wasserglas eine Versiegelung der Oberfläche bewirken.

Von den im Fachhandel angebotenen Gipssorten eignet sich besonders der Modellgips. Er wird durch Zugabe von Wasser zu einem leicht gießfähigen Brei angerührt. Die Masse erstarrt von selbst in kurzer Zeit. Mit der Entformung sollte man aber einen Tag warten, da die Festigkeit des erstarrten Gipses kurz nach dem Festwerden noch relativ gering ist und leicht Beschädigungen an der Form auftreten können.

Gipsformen haben den Vorteil, daß man bei ihnen Unkorrektheiten in der Abbildung sehr leicht beseitigen und ausbessern kann. Neben Gips kann dafür auch ein Epoxidharzspachtel o. ä. verwendet werden.

5.3.4. Epoxid- und Polyesterharze

Die Vielseitigkeit der Anwendung einiger Plastwerkstoffe wird dem Anwender gerade hier auffallen, da diese Produkte bereits als Klebstoffe und Vergußmasse beschrieben wurden. Doch gerade die Epoxidharze sind es, die zur Herstellung von Werkzeugen für kleine Serien besondere Bedeutung erlangt haben. Für Verfahren, die mit keinem oder nur geringem Druck arbeiten, liegen gute Erfahrungen vor [8]. Formkörper und Werkzeuge haben eine beachtliche Oberflächengüte, hohe mechanische Festigkeit, gute Maßhaltigkeit im Abguß und Dimensionsstabilität bei sorgfältiger und technologisch richtiger Herstellung. Voraussetzung ist, ähnlich, wie in Abschnitt 5.4. beschrieben, ein Urmodell und eine Rahmenform, in die das Modell leicht lösbar angebracht wird. Das Werkzeug wird dann in zwei Stufen hergestellt, wobei man zweckmäßigerweise zwei verschiedene Harze mit unterschiedlichen Aufgaben einsetzt.

Grundsätzlich sollen nur Harze verwendet werden, die eine möglichst geringe Nachschrumpfung aufweisen, also auch keine äußeren Weichmacher, z. B. bei *Epilox EGK 19, EGK 54* oder *Epasol EP 9,* enthalten dürfen. Mit der ersten Schicht werden

das Modell und die Rahmenform dünn überzogen. Diese Schicht kann z. B. folgende Zusammensetzungen aufweisen:

100 MT	Epilox EG 34	100 MT Epilox 34
10 MT	Aluminiumpulver	10 MT Aluminiumpulver
10 MT	Füllstoff K 60	5 MT Füllstoff K 60
33 MT	Härter 105	oder 12 MT Härter 3

Die erste Rezeptur muß, wie in Abschnitt 2.1.2. beschrieben, heiß, die Mischung der zweiten Rezeptur kalt gehärtet werden. Die Auswahl ist entsprechend den späteren Anforderungen zu treffen.

Wenn die Absicht besteht, ein Werkzeug aus ungesättigtem Polyesterharz herzustellen, können folgende Rezepturen empfohlen werden:

80 MT	Polyester GG oder G	100 MT vorbeschleunigtes Po-
20 MT	Polyester GM	lyester G (Hobby-
3 MT	Cyclohexanonperoxid	Plast)
2 MT	Kobaltbeschleuniger	4 MT Cyclohexanonperoxid
12 MT	Füllstoff K 60	12 MT Füllstoff K 60
10 MT	Aluminiumpulver oder	10 MT Aluminiumpulver

Diese Epoxid- oder Polyesterharzschicht wird angehärtet und eine Füllschicht darübergegossen. Für die Füllschicht können folgende Rezepturen empfohlen werden:

100 MT	Epilox EG 34	100 MT Epilox EG 34
100 MT	Aluminiumgrieß	200 MT Quarzmehl, Mahlung 9
	0 bis 1 mm	5 MT Füllstoff K 60
20 MT	Graphit 0,1 bis 0,3 mm	33 MT Härter 105
5 MT	Füllstoff K 60	
33 MT	Härter 105 oder	

Bei Anwendung einer kalthärtbaren Gelcoatschicht sollte auch eine ähnliche Füllschicht gewählt werden:

100 MT	Epilox EG 34	100 MT Epilox EG 34
100 MT	Aluminiumgrieß	150 MT Quarzmehl, Mahlung 9
	0 bis 1 mm	10 MT Füllstoff K 60
10 MT	Füllstoff K 60	12 MT Härter 3
12 MT	Härter 3 oder	

Bei einer Gelcoatschicht aus Polyesterharz sollte auch die Füllschicht aus Polyesterharz bestehen, z. B.:

80 MT	Polyester GG/G	100 MT vorbeschleunigtes Poly-
20 MT	Polyester GM	ester G (Hobby-Plast)
2 MT	Cyclohexanonperoxid	1 MT Kobaltbeschleuniger

2 MT Kobaltbeschleuniger	2 MT Cyclohexanonperoxid
130 MT Aluminiumgrieß 0 bis 1 mm	300 MT Eisenpulver Sorte 0,06
20 MT Graphit 0,1 bis 0,3 mm	20 MT Füllstoff K 60
10 MT Füllstoff K 60	5 MT Wachslösung
5 MT Wachslösung	

oder

In der Literatur [18] werden Hinweise gegeben, wie das Kornspektrum bei Füllstoffen zur Erlangung optimaler Eigenschaften aussehen müßte. Für gewaschenen und geglühten Quarzsand ergibt sich dabei folgendes Bild:

Körnung 0,1 bis 0,3	40%
Körnung 0,3 bis 0,5	15%
Körnung 0,5 bis 1,0	25%
Körnung 1,0 bis 1,5	20%

Neben Eisenpulver, Quarzmehl und Aluminiumgrieß kann auch Kupfer- und Messingpulver bzw. -grieß verwendet werden. Bei der Anwendung von Füllstoffen hoher Dichte ist allerdings zu berücksichtigen, daß sich diese Stoffe sehr leicht absetzen und so inhomogene Werkzeuge bilden.

Zur praktischen Durchführung ist noch zu bemerken, daß die Gelcoatschicht mit einem hartem Pinsel aufgetragen werden sollte, dessen Borsten kurz geschnitten worden sind. Die Schichtdicke darf nicht mehr als 1 mm betragen. Der Pinsel muß in Ecken und Kanten nicht gestoßen, sondern gezogen werden, weil sich sonst Lufteinschlüsse kaum vermeiden lassen.

Quarzmehl, Quarzsand und, falls vorhanden, auch Siliziumcarbid sind sehr harte Füllstoffe, die sich nur mit Spezialwerkzeugen ohne größeren Verschleiß bearbeiten lassen. Am sinnvollsten scheint die Verwendung von Aluminiumpulver und -grieß.

Bei größeren Werkzeugen ist auch eine etwas andere Technologie möglich. Man trägt auch hier wie bei kleineren Werkzeugen auf das Bezugsmodell und auf den Formkasten bzw. die Rahmenform nach dem Trennmittel eine Gelcoatschicht in der beschriebenen Art auf. Diese Schicht sollte 1 bis 2 mm betragen und mit 2 bis 3 Anstrichen aufgetragen werden.

Danach stellt man sich eine stampfbare Mischung her, die in Schichten von 30 bis 50 mm aufgetragen wird, entsprechend dem in Abschnitt 3.1.4. beschriebenen Prinzip. Folgende Rezepturen lassen sich verwenden:

100 MT Epilox EGK 19		100 MT Epilox EG 34
600 MT Quarzsand		600 MT Aluminiumgrieß 0,5 bis 1,0 mm
11 MT Härter 3	oder	33 MT Härter 105
oder		
100 MT Epilox EG 34		100 MT Polyester G
300 MT Graphit 0,5 bis 1,0 mm		2 MT Cyclohexanonperoxid
300 MT Aluminiumgrieß 0,5 bis 1,0 mm		2 MT Kobaltbeschleuniger
		600 MT Quarzsand oder Aluminiumgrieß 0,5 bis 1,0 mm
33 MT Härter 105	oder	5 MT Wachslösung (nur bei der letzten Schicht)

Bei feinen Konturen kann gegebenenfalls eine feinere Abschlußschicht mit geringerem Füllstoffgehalt verwendet werden. Man nimmt zweckmäßigerweise eine Zusammensetzung, wie für die Gelcoatschicht beschrieben.
Die vollständige Härtung der Harze erfolgt entsprechend den jeweiligen Bedingungen. Danach wird die Form vom Modell getrennt.

5.3.5. Siliconkautschuk

Die für die Werkzeugherstellung geeigneten Siliconkautschuke stehen dem Amateur nur in Arbeitsgemeinschaften zur Verfügung. Da aber diese Art der Werkzeugherstellung sehr einfach und schnell erfolgen kann, soll in diesem Heft auch kurz darauf eingegangen werden.
Für den Anwendungsfall sind besonders die beiden kaltvulkanisierbaren Typen *NG 3150* (frühere Bezeichnung *NV 348*) und

Tabelle 5.4. Gebrauchsdauer von Siliconkautschuk in Abhängigkeit von der Art des Vernetzers

	3 % Vernetzer 2	3 % Vernetzer 3
NG 3150	20 ... 30 Min.	etwa 100 Min.
NG 3000	40 ... 50 Min.	etwa 300 Min.

Tabelle 5.5. Einige Eigenschaften der Siliconkautschuke *NG 3150* und *NG 3000*

	Einheit	NG 3150	NG 3000
Viskosität	cP	20 000	1 300
Farbe		weiß bis grau	grauweiß
Dichte	g/cm³	—	1,05
Temperaturbeständigkeit	°C	—55 ... +180	—50 ... +180
kurzzeitige Überlastung	°C	—250	+250
Zugfestigkeit	N/mm²	>2,5	0,8
Druckfestigkeit	N/mm²	>30	—
Bruchdehnung	%	150	200
Härte	Shore A	40 ± 5	20 ± 5
Dielektrizitätskonstante	—	—	≦3,5
Verlustfaktor	—	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$
spezifischer Volumenwiderstand	Ω · cm	$1 \cdot 10^{4}$	$5 \cdot 10^{14}$
Durchschlagfestigkeit	kV/mm	15	12

NG 3000 (frühere Bezeichnung *NVG 3000*) geeignet [8]. Es handelt sich bei beiden Produkten um viskose Flüssigkeiten, die mit Hilfe eines Vernetzungsmittels chemisch reagieren und dabei eine feste, gummielastische, weißgraue Masse bilden. Aus der praktischen Erfahrung haben sich besonders die Vernetzer 2 und 3 für Gießprozesse dieser Art als geeignet erwiesen. Tabelle 5.4. gibt eine Übersicht über die Gebrauchsdauer mit unterschiedlichem Vernetzer.

Ähnlich wie bei Epoxid- oder Polyesterharzen nimmt die Gebrauchsdauer mit steigender Temperatur ab. Die Angaben in Tabelle 5.4. gelten für etwa 20 °C. Bei der praktischen Arbeit wird der Vernetzer mit der Paste gut vermischt. Es ist dabei darauf zu achten, daß möglichst wenig Luft eingerührt wird, da diese besonders bei der Paste *NG 3150* nur schwer entweichen kann. Das Mischen des Ansatzes darf nur so viel Zeit in Anspruch nehmen, daß eine einwandfreie Verarbeitung noch möglich ist. Eine ausreichende Härtung erfolgt für den Typ *NG 3150* innerhalb von 10 Stunden, für *NG 3000* erst nach mindestens 24 Stunden. Die vollständige Vernetzung benötigt eine viel längere Zeit, braucht aber nur dann abgewartet zu werden, wenn

besondere mechanische oder dielektrische Forderungen bestehen. Die wichtigsten mechanischen und dielektrischen Eigenschaften werden in Tabelle 5.5. wiedergegeben.
Wird der Vernetzeranteil erhöht, verkürzt sich die Gebrauchsdauer! Mit den Vernetzern 2 und 3 können Siliconkautschukpasten bis unter 0 °C gehärtet werden.
Um ein Anhaften des vulkanisierten Kautschuks an das Modell und die Rahmenform zu vermeiden, sollte vorher als Trennmittel eine wäßrige Seifenlösung, Bohnerwachs oder Mineralöl aufgetragen werden. Spezielle Hinweise dazu sind Abschnitt 5.5. zu entnehmen.
Allgemein wird darauf hingewiesen, daß solche Formen aus Siliconkautschuk keine Trennmittel benötigen. Diese Behauptung ist nur bedingt richtig. Saubere Gußteile, die sich leicht entformen lassen, erhält man bei mehrmaligen Abgüssen nur, wenn man auch Trennmittel benutzt.

5.3.6. PVC-Pasten

PVC-Pasten oder sogenannte Plastisole gehören zu den Werkstoffen, die sehr vielseitig angewendet werden. Sie sind nicht im Einzelhandel erhältlich, stehen also nur Arbeitsgemeinschaften zur Verfügung. Vom *Kombinat VEB Chemische Werke Buna, Betriebsabteilung Ammendorf*, werden gemäß TGL 23 339, Blatt 1—3, u. a. Pasten hergestellt, mit denen man auch gießen und tauchen kann. Folgende Typen werden dafür angeboten:

PVC-Paste *GE 200/45*	PVC-Paste *GE 300/50*
PVC-Paste *GE 200/50*	PVC-Paste *GE 400/45*
PVC-Paste *GE 300/45*	PVC-Paste *GE 401/50*

Diese Pasten weisen zur Orientierung folgende Eigenschaften auf:

Viskosität	1500 ... 8000 cP
Feuchtigkeitsaufnahme	0,2%
Zugfestigkeit	6,0 ... 9,0 N/mm²
Dehnung bei Höchstkraft	280 ... 380%
Härte nach Shore A	60 ... 68

Besonders die beiden Pasten *GE 400/45* und *GE 401/50* sind für die Herstellung von Primitivwerkzeugen geeignet. Prinzipiell ist es auch möglich, Gießpasten selbst herzustellen. Die Fachliteratur gibt dazu genügend Hinweise [8], [17].

Im Verhältnis zu anderen Gießprozessen sind PVC-Pasten relativ leicht zu verarbeiten. Bei Temperaturen zwischen 150 °C und 200 °C, vorzugsweise bei 180 °C, tritt nach kurzer Zeit eine genügende Gelierung auf. Im allgemeinen reichen 60 Minuten für eine 10 mm dicke Schicht aus. Es ist darauf zu achten, daß die Hitze an allen Stellen gleichmäßig wirken kann. Die vor Gebrauch umgerührte Paste wird dazu in die Form gegossen und zum Gelieren in den Ofen gebracht. Man kann sowohl in vorgeheizte als auch in kalte Formen gießen. Die Entformung geschieht sehr leicht, so daß auch kein Trennmittel verwendet werden muß. Die Wanddicke der Form liegt zwischen 2 mm und 10 mm.
Kleine Modelle aus Metall oder keramischem Material können auch getaucht werden. Man erwärmt dazu das Modell auf 130 bis 180 °C und taucht es in die Paste ein. Nach kurzer Zeit ist das Modell herauszuziehen und bei 170 bis 190 °C zu gelieren. Die gelierte PVC-Paste läßt sich nach dem Erkalten mühelos abstreifen.
Da sich PVC-Pasten nicht wie übliche Flüssigkeiten verhalten, sind im allgemeinen einige Handversuche erforderlich, um die notwendige Fertigkeit zu erwerben.

5.4. Werkzeugaufbau

Je nach Anforderungen wird der Werkzeugaufbau mit den vorhandenen Möglichkeiten und Hilfsmitteln abgestimmt. Wie bereits in Abschnitt 5.3. an einigen Stellen angedeutet, benötigt man für einfache Teile Rahmenformen, in die das Modell eingelegt und befestigt wird. In Bild 5.3 sind in den Darstellungen 1 bis 4 die Arbeitsschritte und die notwendigen Hilfsmittel zu sehen, die bei der Herstellung von Werkzeugen aus gießfähigen Kunstharzen benötigt werden.
Da bei komplizierten Gestaltungen die Entformung Schwierigkeiten bereiten kann, sind die Werkzeuge zweckmäßigerweise mit Trennhilfen und Auswerfern auszustatten. Bild 5.4 stellt ein solches Werkzeug dar, das hier nur als Demonstrationsmodell benutzt wurde.
Wichtig ist, daß mehrteilige Werkzeuge dicht sind, da sonst das Harz ausläuft. Eine gewisse Abdichtung wird durch das Trennmittel erreicht.

Weitere Hinweise sind der speziellen Literatur zu entnehmen [8], [18].

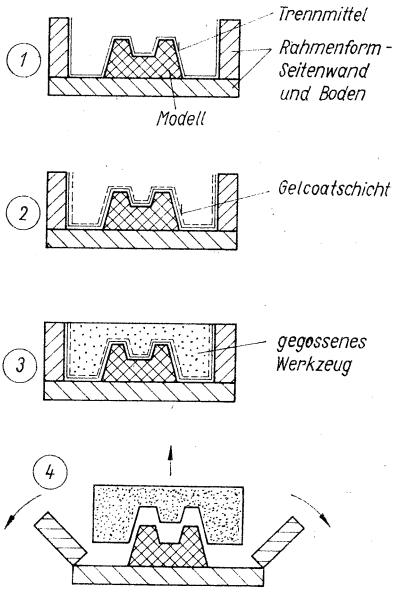


Bild 5.3 Arbeitsschritte von der Werkzeugvorbereitung bis zur Entformung
1 Rahmenform mit befestigtem Modell und aufgetragenem Trennmittel
2 Modell und Rahmenform werden mit einer Gelcoatschicht eingestrichen
3 eingegossenes Harz
4 Entformung

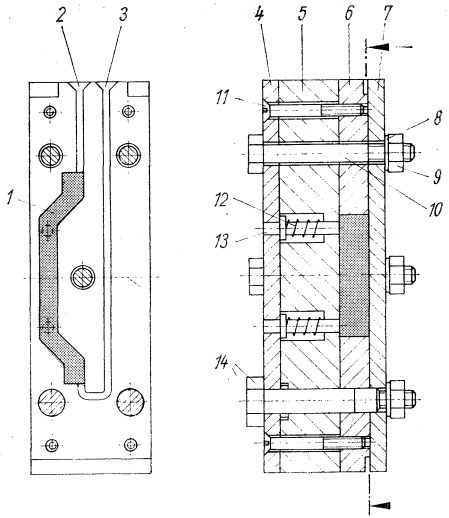


Bild 5.4 Werkzeug mit technischen Hilfsmitteln zur Entformung.
1 — Formteil, 2 — Steiger, 3 — Anguß, 4 — Deckplatte, 5 — Zwischenplatte, 6 — Formplatte, 7 — Deckplatte, 8 — Unterlegscheibe, 9 — Sechskantmutter, 10 — Sechskantschraube, 11 — Senkschraube, 12 — Druckfeder, 13 — Auswerferstift, 14 — Führungsbolzen mit Passung (H7/m6 für festsitzenden Teil, H7/f7 für losen Teil)

5.5. Trennmittel

Bevor der Gießprozeß beginnen kann, ist das gereinigte und zusammengebaute Werkzeug mit einem Trennmittel einzureiben. Diese Behandlung ist auch bei Werkzeugen aus Siliconkautschuk vorzunehmen, da diese bei mehrmaliger Benutzung ebenfalls keine einwandfreie Lösung vom Gußteil gewährleisten. Grundsätzlich muß vor jedem Guß ein Trennmittel benutzt werden, da sonst speziell bei Epoxidharzen eine Entformung ohne Zerstörung des Gußteils oder des Werkzeugs kaum möglich ist (Ausnahme sind PVC- und Silikonkautschuk-Werkzeuge). Die in der Industrie gebräuchlichen Trennmittel können auch in der

Tabelle 5.6. Übersicht der wichtigsten Trennmittel

Basis	Handelsname
Silikonöl	Silikonöl NM 1-50
	Silikonöl NM 1-200
	Silikonspray 200
	Silikonfett NP 13
Wachs/Wasser-Dispersion	Exprotekt
Wachssuspension	Aero 46
Bohnerwachs	alle festen Bohnerwachse, die der Fachhandel anbietet
Bienenwachs	Bienenwachs

Amateurtechnik empfohlen werden. Tabelle 5.6. gibt dazu einen Überblick.

Da Bienenwachs relativ hart ist, stellt man sich zweckmäßigerweise eine Lösung von 15 MT Bienenwachs in 85 MT Trichlorethylen, Perchlorethylen oder Methylenchlorid her. Bei allen Trennmitteln, die Lösungsmittel enthalten, ist vor dem Eingießen eine Wartezeit von etwa 60 Minuten zum Abdunsten des Lösungsmittels einzuhalten.

Für kalthärtende Harze hat sich Bohnerwachs am besten bewährt. Für heißhärtende Harze sind Siliconöle zu bevorzugen. Allgemein ist auf einen dünnen, aber gleichmäßigen Auftrag zu achten. Eine auf 30 bis 40 °C erwärmte Form läßt sich leichter einreiben als eine sehr kalte Form. Zum Auftragen sollten Pinsel, Lappen oder Zellstoff, aber keine scharfen Gegenstände benutzt werden, da sonst die Oberfläche des Werkzeugs oder auch das Modell Kratzer bekommen kann.

5.6. Technologie des Gießens

Das gereinigte und mit Trennmittel versehene Werkzeug wird zum Gießen bereitgestellt. Die Gießform sollte die gleiche Temperatur haben wie das zu verarbeitende Harz. Das gilt besonders für kompliziertere Konturen, die man einwandfrei abgebildet haben möchte. Zu hohe Werkzeugtemperaturen können eine starke Verkürzung der Gebrauchsdauer bedeuten, was u. a. zu fehlerhaften Gußteilen führen kann.

Beim Gießen ist darauf zu achten, daß keine Luftblasen einge-

gossen werden. Der Strahl soll gerade und gleichmäßig einlaufen, keine Schlingen, Schrauben oder sonstige Figuren bilden. Er soll kreisförmig und nicht als Band auslaufen. Das wird am leichtesten dadurch erreicht, indem man aus geringer Höhe gießt und ein Gefäß mit nicht zu großem Öffnungsdurchmesser verwendet wie z. B. flexible Kunststoffbecher, die leicht die gewünschte Form annehmen können.

Lunkern können im Gußteil weiterhin dadurch entstehen, daß es bei Gießformen, die Querschnittsverengungen aufweisen, zu Stauungen kommen kann, die Lufteinschlüsse ermöglichen. Abhilfe schaffen in solchen Fällen oft die Schräglage des Werkzeugs und ein steigender Guß.

In Bild 5.5 ist das Prinzip des fallenden und steigenden Gusses wiedergegeben.

Bei steigendem Guß wird das Werkzeug von der tiefsten Stelle an gefüllt und so die Luft besser aus den Hohlräumen des Werkzeugs vertrieben. Diese Verfahrensart sollte für geschlossene Formen und kompliziertere Teile angewendet werden. Der Durchmesser der Harzeinlaufbohrung darf nur so groß sein, daß sich diese voll mit Harz füllt. Die trichterförmige Öffnung am Anguß muß während des gesamten Gießprozesses mit Harz gefüllt bleiben. Je nach Konsistenz des Harzes und Größe des Werkzeugs sind Bohrungen zwischen 3 mm und 10 mm Durchmesser im allgemeinen ausreichend.

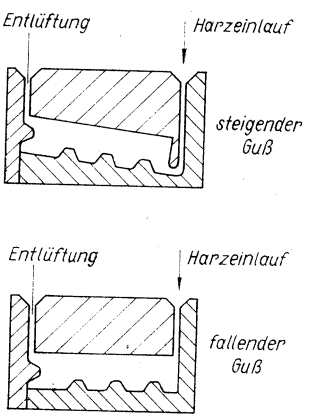


Bild 5.5
Prinzip des steigenden und fallenden Gusses

5.7. Entformen gegossener Körper

Bei Rahmenwerkzeugen, die aus leicht befestigten Einzelteilen bestehen, wird die Entformung durch Zerlegen der Form vorgenommen. Alle kalthärtenden Harze werden bei Raumtemperatur entformt, heißhärtende Harze, z. B. *Epilox EG 34* mit *Härter 105*, bei 80 bis 100 °C, da sonst unter Umständen durch die Temperaturschrumpfung Entformungsschwierigkeiten auftreten können. Das gilt besonders für Werkzeuge, die mit Schiebern oder Kernen ausgestattet sind, die bei ungenügenden Wandschrägen klemmen können und sich dann nicht ziehen lassen.
Werkzeuge sollten zum leichteren Zerlegen Trennspalten enthalten, in die ein Schraubendreher gesteckt werden kann, so daß man durch Drehen eine Trennung erreicht.
Kompliziertere Werkzeuge können durch Schrauben und Gewindebolzen zusammengehalten und auseinander gedrückt werden, wie im Prinzip in Bild 5.6 angedeutet. Man sollte auch bei kleinen Werkzeugen keine Schrauben unter M6 zum Drücken verwenden.

5.8. Nachbearbeiten von gegossenen Körpern

Die Nachbearbeitung von gegossenen Körpern bezieht sich auf die Entfernung des Trennmittels (nur wenn erforderlich), die Entgratung und gegebenenfalls die spangebende Bearbeitung sowie die Beseitigung von Lunkerstellen oder anderen Oberflächenfehlern.

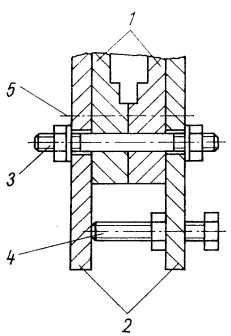


Bild 5.6
Trennhilfen; 1 — Formplatten, 2 — Deckplatten, 3 — Gewindebolzen mit Passung (H7/f7), 4 — Sechskantschraube, zum Auseinanderdrücken der beiden Deckplatten, 5 — Senkschraube

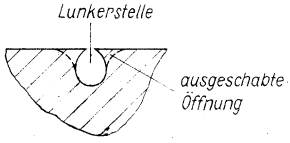


Bild 5.7
Geöffnete Lunkerstelle

Das Trennmittel kann, wenn notwendig, leicht durch Abreiben des Gußteils mit in Methylenchlorid, Aceton, Spiritus, Ethylacetat getränktem Zellstoff oder mit anderen geeigneten Lösungsmitteln entfernt werden. Es ist darauf zu achten, daß das Lösungsmittel den Plastwerkstoff nicht anlöst, was besonders für Polyacrylate gilt, die möglichst nur mit Seifenlösungen oder Spiritus abgewaschen werden sollen. Auch flüssige Fensterputzmittel sind geeignet.

Trotz sauberen Arbeitens können die Gußteile Luftblasen, sogenannte Lunkerstellen, enthalten. Wenn sich diese dicht unter der Oberfläche befinden oder wenn sie als Löcher ausgebildet sind und sie sich auf die spätere Funktion störend auswirken, sollten sie beseitigt werden. Zweckmäßigerweise wird dazu die Lunkerstelle weit mit einem feinen scharfen Dreikantschaber, wie in Bild 5.7 dargestellt, geöffnet und mit einem geeigneten Harz ausgespachtelt. Besonders glatte Oberflächen entstehen, wenn die behandelten Stellen mit dünner Polyethylen- oder Perfolfolie abgedeckt werden. Nach der Aushärtung wird die Folie abgezogen, und man kann eine mechanische Nachbearbeitung vornehmen.

6. Laminiertechnik

6.1. Verstärkungsmaterialien für Laminate

Als Verstärkungsmaterial sollen hier Faserstoffe oder aus Faserstoffen hergestellte Flächengebilde verstanden werden. In der Amateurtechnik kommt den Vliesen und Geweben die größte Bedeutung zu. Dabei sind Glasgewebe und -matten besonders hervorzuheben. Außerdem kann man Zellulosegewebe und -vliese, Baumwollgewebe und -vliese sowie Jute-, Seide- und synthetische Gewebe oder Vliese verwenden.
Das Verstärkungsmaterial soll folgende Eigenschaften besonders beeinflussen:
- Zugfestigkeit,
- Biegefestigkeit,
- E-Modul,
- Druckfestigkeit,
- Knickfestigkeit, Bruchdehnung,
- Ausdehnungskoeffizient,
- Formbeständigkeit in der Wärme,
- Formstabilität.

Die Auswahl des Verstärkungsmaterials richtet sich nach den Eigenschaften, die das spätere Laminat haben soll. Vorausgesetzt, es wird ein für den Anwendungsfall günstiges Harz als Matrixpolymer verwendet, dann sind folgende Faktoren für die Eigenschaften von Bedeutung:
- Art des Verstärkungsmaterials,
- Form und textile Struktur,
- Anzahl der Verstärkungsanlagen,
- Masseverhältnis Verstärkungsmaterial/Harz,
- Herstellungsverfahren und Technologie.

Außerdem können Harzzusätze das Eigenschaftsbild eines Laminats beeinflussen.
Zur Herstellung faserverstärkter Polymerwerkstoffe werden hauptsächlich Glasfasern verwendet. Die Masse von flächigen Glasfasererzeugnissen ist sehr unterschiedlich und schwankt je nach Dicke der Elementarfäden, der Anzahl der Spinnfäden und

gegebenenfalls der Bindungsart zwischen 80 g/m² und 960 g/m². Von den angebotenen Sorten werden zur Verstärkung von Plastwerkstoffen insbesondere alkalifreie E-Glassorten verwendet, die eine hohe Hydrolysebeständigkeit und gute dielektrische Eigenschaften haben. Nachstehend sind einige Glasfaserstoffe beschrieben.

6.1.1. Glasfasergewebe

Die Gewebe sind dadurch charakterisiert, daß sich Fadensysteme, also Rovings, Twiste oder Zwirne, im rechten Winkel kreuzen. Je nach Art der Bindung von Kett- und Schußfäden wird zwischen Leinen-, Köper- und Atlasbindung unterschieden [6], [8]. Die Leinenbindung ist die einfachste Kreuzungsart und hat die meisten Kreuzungsstellen je Flächeneinheit. Gewebe mit Leinenbindung sind recht steif (Bild 6.1).
Die Köperbindung ist loserer Art und bewirkt eine Gratausbildung auf der Gewebeoberfläche an den Kreuzungspunkten. Sie entsteht durch Verschiebung der Kreuzung auf den Diagonalen. Die Atlas- oder Satinbindung ist durch verschobene Kreuzungspunkte charakterisiert. Es ist die loseste Bindung, bei der sich Kreuzungsstellen nicht berühren. Besonders die beiden letzten Gewebearten sind für komplizierte geometrische Formen geeignet, da sie anschmiegsamer als Gewebe mit Leinenbindung sind.

6.1.1.1. Rovinggewebe

Unter Roving wird ein Strang verstanden, der aus einer bestimmten Anzahl ungezwirnter, annähernd paralleler (nicht miteinander verdrehter) Spinnfäden besteht. Rovinggewebe bestehen

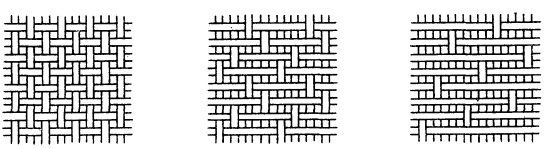


Bild 6.1 Gebräuchlichste Bindungsarten

Tabelle 6.1. Rovinggewebe

Masse je Flächeneinheit in g/m²	Bindung	Breite in mm	Charakteristik	Anwendung
400	Köper	1200	gut schmiegsam, in Kettrichtung stärker als in Schußrichtung	besonders für zylindrisch und sphärisch gewölbte Teile, auch mit kleinen Radien
580	Leinen	1200	steifes Gewebe, in Kett- und Schußrichtung fast gleichstark	für leicht gewölbte Flächen mit großen Radien geeignet,
600	Leinen	1200	schmiegsam, in Kettrichtung wesentlich stärker als in Schußrichtung	auch für gewölbte Teile gut geeignet, Festigkeitsrichtung beachten
720	Leinen	1200	steifes Gewebe, in Kettrichtung stärker als in Schußrichtung	besonders für ebene Bauteile und solche mit sehr großen Radien, Festigkeitsrichtung beachten
820	Leinen	1200	sehr steifes Gewebe, in Kettrichtung etwas stärker als in Schußrichtung	hauptsächlich für ebene Bauteile und solche mit sehr großen Radien, leicht betonte Festigkeitsrichtung, dicke Bauteile
960	Köper	1200	schmiegsam, in Kett- und Schußrichtung gleichstark	für zylindrisch und sphärisch gewölbte Teile mit größeren Radien, sehr dicke Bauteile

mindestens in der Kette aus Rovings. Vom *VEB Kombinat Technisches Glas Ilmenau* werden die in Tabelle 6.1. aufgeführten Sorten angeboten [13].

Rovinggewebe setzt man zur Herstellung von stark belasteten

verstärkten Plastteilen, insbesondere im Boots-, Fahrzeug- und Behälterbau sowie in der Elektrotechnik ein. Sie werden mit einer haftmittelhaltigen Schlichte auf Basis Vinylsilan angeboten. Bezüglich der interessierenden Fadendichte je Zentimeter in Kette und Schuß sowie die Reißlast in Kette und Schuß sei auf die spezielle Literatur verweisen [6], [8], [13]. Die Kettfäden sind oft stärker als die Schußfäden ausgebildet. Sie dürfen auf keinen Fall in der Hauptlastrichtung liegen! Rovinggewebe sind leichter tränkbar als solche aus Garnen oder besonders solche aus Zwirn.

6.1.1.2. Glasseidentwistgewebe

Unter Twist wird ein schutzgedrehter Spinnfaden mit so niedriger Drehungszahl verstanden, daß bei der textilen Weiterverarbeitung keine Kringelbildung auftritt. Twistgewebe bestehen min-

Tabelle 6.2. Glasseidentwistgewebe

Masse je Flächeneinheit in g/m²	Bindung	Breite in mm	Charakteristik	Anwendung
80	Leinen	1200	leichtes Schutzzwirngewebe, gute Schmiegsamkeit	für extrem dünne, glatte Konstruktionen, Benetzbarkeit und Festigkeit gut
110	Leinen	1200	geringe Schmiegsamkeit	für zylindrisch gewölbte Teile mit größeren Radien und besonders für ebene Verbundwerkstoffe geeignet
130	Leinen	1200	geringe Schmiegsamkeit	Anwendung wie beim 110 g/m²-Gewebe
163	Leinen	1200	schmiegsames Gewebe, in Kett- und Schußrichtung gleich stark	für sphärische und in einer Ebene gewölbte Bauteile, auch

Masse je Flächeneinheit in g/m^2	Bindung	Breite in mm	Charakteristik	Anwendung
				mit kleinen Radien, gute Benetzbarkeit
190	Köper	1200	sehr schmiegsam, größere Verstärkung in der Kettrichtung	besonders zur Verstärkung von Teilen mit komplizierten Oberflächen, mechanische Beanspruchung sollten nur in Kettrichtung erfolgen
220	Leinen	1200	schmiegsames, in Kettrichtung leicht verstärktes Gewebe	für ebene und auch gewölbte Bauteile unter 2 mm Stärke, Festigkeit in Kettrichtung höher
275	Leinen	1000	schmiegsames, in Kett- und Schußrichtung gleichstarkes Gewebe	geeignet für ebene und gewölbte Teile, auch mit kleinen Radien
275	Köper	1000	gut schmiegsames Gewebe, das in Kettrichtung wesentlich stärker als in Schußrichtung ist	gut geeignet für beliebig gewölbte Bauteile auch mit kleinen Radien, gute Festigkeiten nur in Kettrichtung
350	Leinen	1200	schmiegsam, in Kettrichtung etwas stärker als in Schußrichtung	für ebene und gewölbte Bauteile mit nicht zu kleinen Radien
400	Köper	1200	schmiegsames, in Kett- und Schußrichtung fast gleich starkes Gewebe	für ebene und gewölbte Bauteile mit nicht zu kleinen Radien, gut benetzbar

destens in der Kette aus Twist. Der *VEB Kombinat Technisches Glas Ilmenau* liefert die in Tabelle 6.2. aufgeführten Sorten. Glasseidentwistgewebe verwendet man zur Herstellung hochbeanspruchter glasfaserverstärkter Plastteile. Die Gewebe werden thermisch entschlichtet und mit Haftmitteln wie Silan- oder Methacrylsäure-Chromkomplex-Verbindungen nachbehandelt.
Gewebe dieser Art sind besonders in der Elektrotechnik/Elektronik zur Herstellung von Halbzeugen der verschiedensten Art von Bedeutung, da sie mit geeigneten Harzen Laminate ergeben, die hervorragende dielektrische Eigenschaften haben. Die bekannten Basismaterialien für gedruckte Schaltungen kann man z. B. mit ihnen herstellen.

6.1.1.3. Glasseidenzwirngewebe

Zwirne bestehen mindestens aus zwei, meist aber aus mehreren gedrehten Glasseidenspinnfäden. Je Meter weisen sie 120 bis 180 Drehungen auf. Die aus ihnen hergestellten Glasseidentwistgewebe müssen mindestens in der Kette aus Glasseidenzwirn bestehen. Solche Gewebe werden in der Elektroindustrie wenig genutzt. Tabelle 6.3. soll einen kurzen Überblick über die vom *VEB Kombinat Technisches Glas Ilmenau* hergestellten Sorten geben.
Twistgewebe benutzt man für hoch zu belastende Konstruktionen und Hohlstäbe. Das Gewebe wird für Laminierzwecke thermisch entschlichtet und mit Silan- oder Methacrylsäure-Chromkomplex-Haftmitteln nachbehandelt.

Tabelle 6.3. Glasseidenzwirngewebe

Masse je Flächeneinheit in g/m²	Bindung	Breite in mm
190	Köper	1200
285	Köper	1200
300	Atlas	1200

6.1.2. Glasseidenmatten

Unter Glasseidenmatten, auch manchmal Glasfasermatten genannt, sollen flächige Gebilde verstanden werden, die aus einer regellosen Schichtung von etwa 50 mm langen Glasseidenfäden bestehen und durch Klebstoffe gebunden oder auf sonstige mechanische Art mit einem Trägermaterial verbunden sind. Tabelle 6.4. gibt eine Übersicht über die vom *VEB Kombinat Technisches Glas Ilmenau* hergestellten Glasseidenmatten, die in der Amateurtechnik von Interesse sind.
Alle beschriebenen Glasseidenmatten enthalten ein Bindemittel (z. B. festes Polyesterharz), das leicht in Styren löslich ist. Sie sind besonders für die Verarbeitung mit ungesättigten Polyestern geeignet. Durch die regellose Anordnung der Fasern haben Matten im Gegensatz zu Geweben keine bevorzugte Festigkeitsorientierung. Wegen ihrer leichten Verarbeitung und des niedrigen Preises sind sie das am häufigsten verwendete Verstärkungs-

Tabelle 6.4. Glasseidenmatten

Bezeichnung	Masse je Flächeneinheit in g/m²	Breite in mm	Charakteristik	Anwendung
B5 P25-LO 300 · Breite	300	1050 1300	gut schmiegsam	besonders für dünne transparente Konstruktionen, bei denen die Flächen in einer Ebene oder sphärisch gewölbt sind, die Benetzbarkeit ist gut
B5 P25-LO 400 · Breite	400	1050 1300	schmiegsam	sowohl für gerade als auch in einer Ebene oder sphärisch gewölbte Teile mit nicht zu kleinen Radien, Transparenz und Benetzbarkeit sind gut
C5 P25-LO 450 · Breite	450	1050 1100 1300	schmiegsam	für ebene und gewölbte Bauteile mit nicht zu kleinen Radien, besonders für dickere Teile geeignet

material. Es ist zu berücksichtigen, daß die erreichbare Festigkeit geringer als bei Geweben ist, für die meisten Anwendungsfälle aber völlig ausreicht.

6.1.3. Sonstige Verstärkungsmittel

Neben den Glasfasern in ihren verschiedenen Formen können auch aus Naturfasern wie Seide, Baumwolle, Jute u. ä. hergestellte Gewebe verwendet werden. Auch synthetische Fasern bzw. daraus gefertigte Gewebe sind zur Verstärkung anwendbar. Besonders Polyamid- und Polyesterfasern eignen sich dafür sehr gut. Die Festigkeit von aus Naturfasern hergestellten Laminaten ist relativ niedrig. Solche Laminate weisen ein recht ungünstiges elektrisches Verhalten auf und sind vor allem sehr störanfällig. Etwas bessere haben synthetische Fasern, die sich durch ihre brauchbare Witterungsbeständigkeit und vor allem durch ihre Feinheit besonders als Deckschichten eignen. In der industriellen Fertigung werden dafür sogenannte Oberflächenmatten, die sehr dünn und saugfähig sind, benutzt. Hier lassen sich eine ganze Reihe von im Haushalt anfallenden Geweben und Vliesen sinnvoll verwenden. So wird die Laminatoberfläche wesentlich glatter, und man kann viel Schleif- oder Polierarbeit vermeiden. Darüber hinaus wird durch solche sehr feine und dichte Gewebeschicht die Entstehung von Haarrissen reduziert und damit besonders die Witterungsbeständigkeit beträchtlich erhöht. Die Durchsichtigkeit von Laminaten geht bei der Anwendung von Geweben aus synthetischen Fasern meistens verloren.

6.2. Zur Auswahl des Verstärkungsmittels

Bei der Auswahl des Verstärkungsmittels muß man sich zunächst überlegen, welche Forderungen das Laminat erfüllen soll. Daraus ergibt sich der Aufbau, d. h. die einzusetzenden Verstärkungsmittel und Harze. Dabei spielen auch technologische und ökonomische Kriterien eine Rolle.
Für das Handauflegeverfahren eignen sich vorzugsweise Glasseidenmatten und solche Gewebe, die nicht zu dicht und ausreichend anschmiegsam sind. Nach [18] gelten folgende allgemeine Beziehungen:

- Dichte Gewebe mit einem geringen Flächengewicht ergeben bei gleicher Glasmasse etwas höhere Festigkeitswerte als schwerere Gewebe.
- Schutzzwirngewebe weisen höhere Festigkeitswerte als Zwirngewebe auf.
- Für Laminate ab 2,5 mm Dicke ist mindestens eine Schicht Rovinggewebe einzusetzen.
- Zur Verbesserung der Oberflächenqualität sollte als Abschluß ein leichtes dichtes Gewebe oder Vlies verwendet werden.
- Die Schiebefestigkeit eines Gewebes soll so groß sein, daß ein Anpassen an die Konturen möglich ist, ohne daß ein Verdrängen oder Verschieben der Fäden auftritt.
- Für das in der Amateurtechnik angewendete Handauflegeverfahren müssen die Verstärkungsmittel eine gute Benetzbarkeit aufweisen.
- Der Preis bei Glasseidenerzeugnissen ist entsprechend dem Veredlungsgrad sehr unterschiedlich. Er steigt in der Reihenfolge: Matte – Rovinggewebe – Gewebe aus niedrig gedrehtem Zwirn – gezwirnte Gewebe an.

Es wird in vielen Fällen günstig sein, eine Kombination von Matten und Geweben einzusetzen. Für tragende Bauteile, die hohen Anforderungen unterliegen, kann folgender Schichtaufbau empfohlen werden:

Gelcoatschicht	
Vlieseline	
Rovinggewebe	600 g/m²
Glasseidenmatte	450 g/m²
Glasseidenmatte	450 g/m²
Rovinggewebe	600 g/m²
Vlieseline	
Gelcoatschicht	

Je nach Harzmenge hat eine so aufgebaute Laminatschicht eine Stärke von etwa 6 mm.

6.3. Probleme der Haftung zwischen Laminierharz und Trägerwerkstoff

Besonders in der Elektroindustrie/Elektronik legt man darauf Wert, daß sich die dielektrischen Eigenschaften von verstärkten

und unverstärkten Plasten bei Feuchtigkeitseinwirkung möglichst wenig ändern. Bei den mit Glasfasern verstärkten Plasten ist dafür die Haftung zwischen Harz und Glasfaser eine wesentliche Voraussetzung. Die Haftung und die Feuchtigkeitsbeständigkeit von Polyesterharzen auf Glas sind ziemlich schlecht. Bei den Epoxidharzen liegen die Verhältnisse zwar etwas besser, sie sind aber auch nicht zufriedenstellend.

Die in der Technik am meisten angewandte Methode, besonders um die Feuchtigkeitsbeständigkeit zu erhöhen, besteht darin, Haftvermittler, auch Finishs oder Primer genannt, einzusetzen. Haftmittel sind nach TGL 24 006 Stoffe oder Stoffgemische mit erheblicher Haftwirkung zum Fügeteilwerkstoff und verfestigten Klebstoff (sinngemäß auch Laminierharz). Sie werden auf die oberflächenbehandelten Klebflächen (sinngemäß Glasgewebe o. ä.) aufgetragen oder dem Klebstoff zugesetzt. Sie erhöhen die Festigkeit und/oder Beständigkeit der Klebverbindung. Darüber hinaus werden elektrische Eigenschaften wie der dielektrische Verlustfaktor, Dielektrizitätskonstante, Durchgangswiderstand und andere speziell bei Feuchtigkeitslagerung negativ beeinflußte Eigenschaften verbessert. Mit Haftmitteln nachbehandelte Glasverstärkungen zeigen meist ein besseres Benetzungsverhalten

Tabelle 6.5. Haftmittel für Polyester- und Epoxidharze

Haftmittel	geeignet für folgende Harze
Vinylsilan	Polyesterharze
Aminosilan	Epoxidharze
Epoxisilan	Epoxidharze, Polyesterharze
Methacrylsäure-Chromkomplex	Epoxidharze, Polyesterharze

Tabelle 6.6. Biegefestigkeitsabfall bei mit Silanen vorbehandelten Glasgeweben

Grundstoff	Gehalt Verstärkungsmaterial in %	Belastung	Biegefestigkeit vom Ursprungszustand in %	
			ohne Silan	mit Silan
Polyester	Glasgewebe 65	8 h kochen	35	95
Epoxidharz	Glasgewebe 70	72 h kochen	37	73

beim Tränken als unbehandelte. Die Literatur gibt über die Arten der Haftmittel und deren Anwendung Auskunft [6], [8], [13], [18]. Tabelle 6.5. gibt Auskunft über die Eignung der Haftmittel für bestimmte Harze, um die Angaben der Glashersteller besser auswerten zu können. Wie beträchtlich die Unterschiede von mit Haftmitteln behandelten Geweben zu unbehandelten Geweben sind, zeigen Untersuchungen von [19], die teilweise in Tabelle 6.6. wiedergegeben sind.
Ähnlich wie die mechanischen Eigenschaften verschlechtern sich auch die dielektrischen Eigenschaften. Der Anwender sollte also je nach Vorhaben entsprechend behandeltes Glasmaterial auswählen. Bei höheren Forderungen sollten Epoxidharze den Polyesterharzen vorgezogen werden.

6.4. Abhängigkeit der Eigenschaften vom Glasgehalt

In der Amateurtechnik lassen sich nach dem Handauflegeverfahren Verstärkungsmaterialien bis teilweise über 50% einarbeiten. In Tabelle 6.7. werden entsprechend [13] die mechanischen Eigenschaften in Abhängigkeit vom Anteil und von der Art des Verstärkungsmaterials dargestellt.
Über den spezifischen Durchgangswiderstand von Glasfaserlami-

Tabelle 6.7. Mechanische Eigenschaften von Laminaten in Abhängigkeit vom Anteil und der Art des Verstärkungsmaterials

	Dimension	Glasmatte	Glasmatte	Glasrovinggewebe
Faseranteil	%	20 ... 30	40 ... 50	50 ... 60
Dichte	mPa · s	1,3 ... 1,4	1,5 ... 1,6	1,7 ... 1,8
Zugfestigkeit	N/mm²	60 ... 120	100 ... 120	300 ... 350
Bruchdehnung	%	2 ... 2,5	1,5 ... 2	2 ... 3
Biegefestigkeit	N/mm²	120 ... 200	180 ... 250	300 ... 350
Schlagbiegefestigkeit	kJ/m²		250 ... 300	350 ... 370
Längenausdehnungskoeffizient, $\alpha \cdot 10^6$	grd^{-1}	20 ... 25	20 ... 25	12 ... 18

Tabelle 6.8. Elektrische Eigenschaften von verstärktem Epoxid- und Polyesterharz

	Polyesterharz		Epoxidharz	
	50 ... 60 Hz	1 MHz	50 ... 60 Hz	1 MHz
Dielektrischer Verlustfaktor, tan $\delta \cdot 10^3$	5,0 ... 50	7,0 ... 40	3,0 ... 15	15 ... 25
Dielektrizitätskonstante	4,3 ... 4,8	4,0 ... 4,7	4,2 ... 4,6	4,5 ... 5,3
spezifischer Widerstand in $\Omega \cdot$ cm	10^6 ... 10^{12}		10^{12} ... 10^{13}	
Durchschlagfestigkeit in kV/mm	8 ... 24		16 ... 30	
Kriechstromfestigkeit (Stufe)	T5	T5	T5	T5

naten gibt gemäß [13] Tabelle 6.8. Auskunft. Diese Werte liegen unter denen der Reinharze. Sie sind aber für viele Anwendungsfälle ausreichend. Die Ursache für den Abfall der elektrischen Isolationswerte ist in der ungenügenden Haftung der Harze an der Glasfaser bzw. in unbenetzten Stellen der Glasfaser zu sehen. Allgemein gilt, daß mit steigender Temperatur der spezifische Durchgangswiderstand abnimmt. So verhält sich ein aus *Epilox EG 34* hergestelltes Laminat bei unterschiedlicher Temperatur, wie in Tabelle 6.9. dargestellt.
Der Verlustfaktor und die Dielektrizitätskonstante steigen mit höher werdender Temperatur an. Weiterhin nimmt der Verlustfaktor mit steigenden Frequenzen bis etwa 10^7 Hz zu, danach fällt

Tabelle 6.9. Abhängigkeit des spezifischen Durchgangswiderstandes von der Temperatur am Beispiel von glasfaserverstärktem *Epilox EG 34*

Temperatur in °C	spezifischer Durchgangswiderstand in $\Omega \cdot$ cm
0	10^{14}
25	10^{13}
50	10^{12}
75	$2 \cdot 10^{11}$
100	$5 \cdot 10^{10}$

Tabelle 6.10. Eigenschaften von Laminaten mit Rovinggeweben und Glasseidenmatten

	Belastung	Glasanteil in %				
		35	40	45	50	55
Glasseiden-rovinggewebe 600 g/m²	Biegefestigkeit in N/mm²	320	360	390	420	450
	Zugfestigkeit in N/mm²	220	250	290	330	370
	Druckfestigkeit in N/mm²	220	250	290	310	340
Glasseiden-matte 400 g/m²	Biegefestigkeit in N/mm²	145	150	155	155	160
	Zugfestigkeit in N/mm²	100	110	125	140	160
	Druckfestigkeit in N/mm²	115	125	135	140	145

er wieder ab. Voraussetzung für gute dielektrische Werte ist die vollständige Härtung des eingesetzten Harzes. Bei Bauelementen, die später auf Zug belastet werden, sind kettverstärkte Gewebe zu verwenden. Gleichzeitig soll der Gewebeanteil mindestens 50 Gewichtsteile betragen. Die Verwendung von Glasmatten ist durch die geringeren Festigkeitswerte nicht zu empfehlen.
Die Druckfestigkeit steigt zwar mit steigendem Faseranteil, ist aber nicht so bedeutend wie die Zug- oder Biegefestigkeit. Diese Form der Belastung tritt in der Praxis besonders häufig auf. Grundsätzlich steigen auch hier die Festigkeitswerte mit höher werdendem Faseranteil. Nach [13] verhält sich ein 600 g/m²-Rovinggewebe zu einer 450 g/m²-Glasseidenmatte wie in Tabelle 6.10. dargestellt. Als Harz wurde für beide Faserstoffe ungesättigtes Polyesterharz verwendet.

6.5. Konstruktive Hinweise

Da es sich bei Laminaten meist um größere flächige Gebilde von geringer Wandstärke handelt, sind auch besondere konstruktive Formen zu wählen, die teilweise an die Blechverarbeitung erinnern. Je nach Anwendungsfall sind das Harz und das Verstärkungsmaterial auszuwählen.
Weiterhin sind Spannungsspitzen zu vermeiden, da sie nicht abgebaut werden. Es ist darauf zu achten, daß der Querschnitt nicht zu dünn gewählt wird, da der E-Modul gegenüber den Metallen niedriger ist. Das gilt besonders für die Steifheit von Laminaten.

6.5.1. Ränder

Bei Basismaterialien und ähnlichen Trägermaterialien sind keine konstruktiven Besonderheiten erforderlich. Das ändert sich sofort, wenn es sich um Verkleidungen, Hauben oder sonstige Gebilde

Bild 6.2 Ausbildung der Ränder an Laminaten

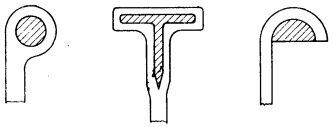


Bild 6.3 Verstärken der Ränder von Laminaten durch Einarbeiten von Profilen

handelt. Die Ränder sind in den meisten Fällen zu verstärken. Dabei bieten sich die in Bild 6.2 gezeigten Formen an.
Darüber hinaus können auch Metallteile in den Rand einlaminiert werden. Bild 6.3 zeigt dazu einige Beispiele. Bei Laminaten, die sich mit Randverstärkung nur schwer oder schlecht herstellen lassen, kann auch nachträglich ein Profil aufgeschraubt werden (Bild 6.4). Dabei sind an der Laminatseite große Unterlegscheiben zu verwenden. Auf saubere rechtwinklige Bohrung achten!

6.5.2. Kanten und Ecken

Bei gewinkelten Laminaten sind Innenkanten mit Radien unter 7 mm zu vermeiden. Der Radius soll mindestens 5 mm mehr als die Laminatdicke betragen. Neben einer ungleichmäßigen Glas-Harz-Verteilung kann es sonst leicht bei Biegebeanspruchungen zu Delaminierungserscheinungen kommen. Für die Amateurtechnik sind Radien ab 20 bis 30 mm je nach Verstärkungsmaterial empfehlenswert. Da Kanten oft hohen Beanspruchungen unterliegen, sollte eine Verstärkung vorgenommen werden. Beim

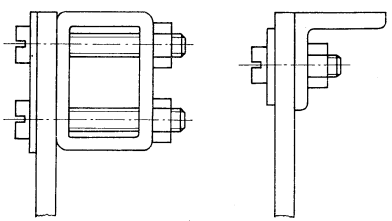


Bild 6.4
Zwei Varianten für nachträglich aufgeschraubte Profile an Laminaträndern

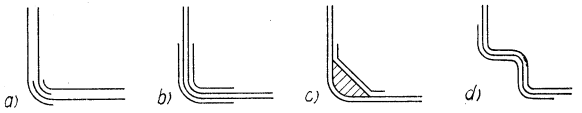


Bild 6.5 Varianten zur Gestaltung von Kanten

Handauflegeverfahren bieten sich dazu die in Bild 6.5 gezeigten Möglichkeiten an.
Besonders gute Steifheit bekommen Teile, wenn eine Kantenverstärkung wie bei Bild 6.5c und d vorgenommen wird. Das eingelegte Profilmaterial, wie in Bild 6.5c dargestellt, kann aus Holz oder Metall sein. Unter Umständen ist ein Winkeleisen, an dem die Kanten gebrochen wurden, völlig ausreichend.
Ecken sind ähnlich zu behandeln wie Kanten. Da die Beanspruchung an Ecken aber noch stärker als bei Kanten ist, müssen die Radien etwas größer und die Verstärkung kräftiger gewählt werden.

6.5.3. Flächenversteifungen bei großen Laminaten

Ebene, großflächige Bauteile mit einheitlicher Wandstärke sind sehr formlabil und bruchempfindlich. Durch die Herstellungstechnologie, Temperaturschwankungen und sonstige Einflüsse können Verwerfungen oder Deformationen der unterschiedlichsten Arten auftreten [8]. Nach [13] reicht bei kleinen Teilen eine entsprechende Randgestaltung zur Stabilisierung aus. Beispiele dazu wurden in Abschnitt 6.5.1. beschrieben. Bei größeren Teilen ab etwa 0,1 m^2 werden in der Industrie vorzugsweise Sicken, Falten oder Wölbungen eingearbeitet. In der Amateurtechnik sind solche Maßnahmen meist schwer zu realisieren.
Aufwendiger, aber leichter durchführbar ist das Ein- bzw. Auf-

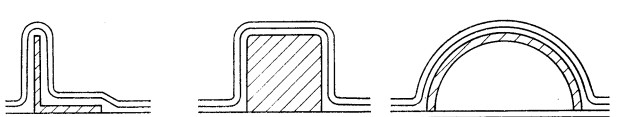


Bild 6.6 Einige Beispiele zur Stabilisierung von größeren Flächen bei Laminaten

laminieren von Profilen. Einige Beispiele dazu werden in Bild 6.6 dargestellt. Die praktische Ausführung sieht dabei so aus, daß auf ein fertiges Laminat, z. B. eine Schale, geeignete Profile aus Holz, Eisen, Aluminium, PVC, Polyethylen oder Pappe aufgelegt und überlaminiert werden. Die erste Gewebe- oder Mattenschicht soll dabei die größte Überlappungslänge (z. B. je 50 mm) aufweisen, die letzte die kleinste (z. B. 30 mm). Setzt man solche Laminate der Witterung aus, empfiehlt es sich, als letzte Schicht ein durchgehendes Gewebe aus synthetischen Fasern oder Oberflächenmatte zu verwenden.

Am angenehmsten lassen sich halbierte oder gedrillte Rohre auflaminieren, da sich bei ihnen das Gewebe oder die Matte am leichtesten anlegen läßt.

Bei langen einlaminierten Profilen mit erheblich anderem linearen Ausdehnungskoeffizienten können bei Temperaturwechselbeanspruchungen Deformationen auftreten, die unter Umständen zur Unbrauchbarkeit des Werkstücks führen. Sehr günstig haben sich aus diesem Grund Papphülsen zum Einlegen bewährt, die allerdings selbst keine große Verstärkung darstellen, aber zur Formgebung völlig genügen. Auch aus Schaumstoffen, speziell Duromerschäumen hergestellte Profilstücke eignen sich zum Einlaminieren ebenso wie Wellplattenabschnitte. Da einzelne Profilstücke nur eine geringe verstärkende Wirkung zeigen, ist, falls erforderlich, die Anzahl der Gewebelagen entsprechend zu erhöhen. Die Wandstärke der Rippe soll aber 3 bis 4 mm nicht überschreiten. Die Höhe und Breite des einzulegenden Profils hängt u. a. von der Form, dem Material und den angreifenden Kräften ab. Im allgemeinen reichen eine Höhe und Breite bzw. ein Durchmesser von 10 bis 25 mm aus.

6.5.4. Öffnungen, Durchbrüche

Grundsätzlich ist es für die Stabilität eines Laminats günstig, wenn Öffnungen, Durchbrüche und ähnliches bei der Herstellung berücksichtigt werden. Öffnungen lassen sich sehr leicht herstellen, wenn ein vorgefertigter Rahmen aus Holz, Draht o. ä. einlaminiert wird. Bei nachträglich ausgesägten Öffnungen ist unbedingt darauf zu achten, daß die Ecken zur Vermeidung von Rissen gerundet sind. Es ist weiterhin zweckmäßig, die Schnitt-

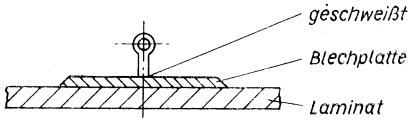


Bild 6.7 Krafteinleitung in Laminate

kante mit einem Epoxidharz zu überziehen und, wie unter Abschnitt 6.5.1. beschrieben, entsprechend zu stabilisieren.

6.5.5. Krafteinleitung in Laminate

Da bei Laminaten Spannungsspitzen die Stabilität sehr nachteilig beeinflussen, hat man für die Krafteinleitung besondere konstruktive Möglichkeiten entwickelt. Im Prinzip laufen alle Verfahren darauf hinaus, den Kraftangriff auf eine große Fläche zu verteilen. In der Industrie werden dazu besondere Gewindeeinsätze verwendet. In der Amateurtechnik können dafür Blechplatten angeklebt oder einlaminiert werden. Die Blechplatten müssen von ausreichender Größe und genügender Formsteifheit sein. Die Kanten sind zur besseren Kraftübertragung abzuschrägen, wie in Bild 6.7 angedeutet.
Auf solche Platten, die 2 mm dick sind, können die verschiedensten Befestigungselemente angebracht, z. B. geschraubt oder geschweißt sein. Auch mit einfachen Durchgangslöchern sind Voraussetzungen für Verbindungen mit anderen Elementen gegeben.

6.5.6. Verbindungen

Bei vielen Anwendungsfällen wird ein laminiertes Werkstück in eine Baugruppe beliebiger Funktion eingesetzt. Dazu kann es erforderlich sein, Verbindungen zu Anschlußteilen herzustellen. Zu den wichtigsten lösbaren Verbindungsarten gehört die Verschraubung. Dabei sind Maschinenschrauben selbstschneidenden Blech- und Holzschrauben vorzuziehen. Blech- und Holzschrauben eignen sich nur für solche Verbindungen, die geringen Bean-

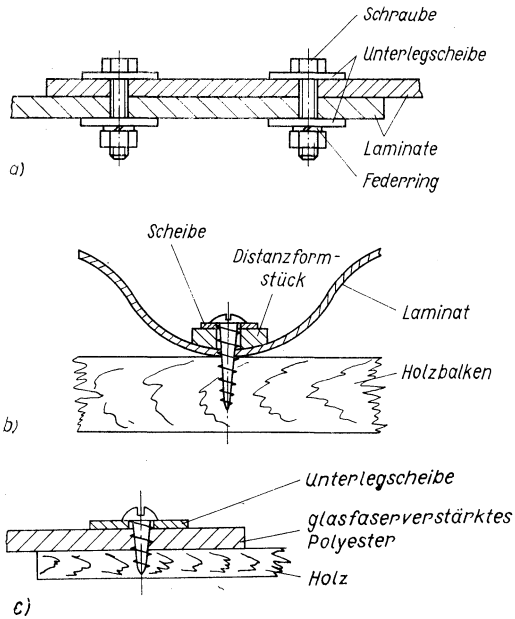


Bild 6.8 Verbindung von Laminaten mit anderen Werkstoffen. Soll der Einsatz als Dachkonstruktion erfolgen, ist es sinnvoller, die Verschraubung am „Wellenberg" vorzunehmen, um unnötige Korrosionserscheinungen zu vermeiden

spruchungen ausgesetzt sind. Wie in Bild 6.8 angedeutet, sind immer Unterlegscheiben oder Laschen zu verwenden. Schrauben dürfen niemals parallel zu den Gewebeschichten eingezogen werden, da sie so eine Delaminierung bewirken. Der Schraubendurchmesser sollte gleich der Dicke des Laminats sein. Bei flachen Verbindungen gibt es mehrere Möglichkeiten, stabile Befestigungen herzustellen. Schwieriger ist das Problem bei gewinkelten Teilen oder anderen komplizierten Formen. Bei hohen Belastungen speziell dynamischer Art ist für eine gute Kraftverteilung zu sorgen. Bild 6.9 zeigt dazu zwei Möglichkeiten.
Verschraubungen darf man nicht zu dicht am Rand vornehmen. Der Mindestabstand eines Lochrandes von der Kante des Lami-

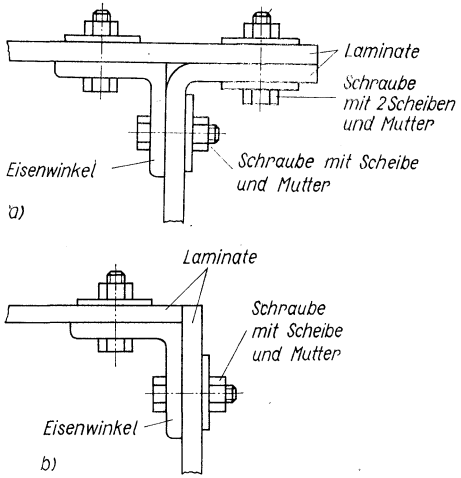


Bild 6.9 Besondere Ausbildung von Kanten

nats soll 20 mm nicht unterschreiten. Natürlich müssen auch hier der Lochdurchmesser und vor allem auftretende Kräfte berücksichtigt werden. Es kann erforderlich sein, solche Zonen mit zusätzlichen Gewebe- oder Mattenlagen zu verstärken.

Weniger gebräuchlich, aber genau so wichtig wie lösbare Verbindungen sind unlösbare Verbindungen, zu denen die Fügeverfahren Kleben und Nieten gehören.

Beim Nieten sollten solche aus Aluminium oder Kupfer, ähnlich wie im Bootsbau, verwendet werden. Stehen sie nicht zur Verfügung, lassen sich als Ersatz übliche Schlitz- oder Hohlnieten verwenden. Der Nietdurchmesser muß, ähnlich wie bei Schrauben, größer als die Dicke des Laminats sein. Auch beim Nieten sind Unterlegscheiben oder Laschen zu benutzen. Es ist beim Klopfen dafür zu sorgen, daß das Laminat gut aufliegt und nicht beschädigt wird.

Eine für die Laminiertechnik wichtige Art der Verbindung ist das Kleben. International sind dafür bevorzugt Klebstoffe auf der Basis Epoxidharz, Epoxid-Phenol-Harz, Epoxidharz-Nitrilkautschuk, Epoxidharz-Polyamid üblich. Darüber hinaus kön-

nen auch Klebstoffe auf Phenolharz- und Polyurethanbasis verwendet werden. Polyesterharzklebstoffe sind durch ihre starke Schrumpfung weniger geeignet. Folgende Klebstoffe gelangen vorzugsweise zum Einsatz: *Epasol EP 11*, *Epasol EP 2*, *Epilox EGK 19* mit *Härter 3* oder *Härter 8* und *Epilox EG 34* mit *Härter 8*. Für Klebungen, die nur geringen Beanspruchungen unterliegen, z. B. Folien auf Laminaten o. ä. eignen sich auch *Chemisol L 1100*, *Chemisol L 1403*, *Chemisol L 1503*, *Chemisol L 1504* und *Chemikal*-Klebstoff.

Für eine nähere Betrachtung sind nur die Klebverbindungen mit größeren Festigkeitsforderungen wichtig. Die Klebstelle sollte möglichst keinen Biege- und/oder Schälbeanspruchungen ausgesetzt werden! Die Vorbehandlung der Klebflächen ist sorgfältig durchzuführen. Die Gestaltung der Fügeteile kann sinngemäß auf die von Blechen übertragen werden. Da Laminate oft – bedingt durch die Herstellung – nicht eben sind, sollte der Anwender mit Füllstoffen angereicherte Klebstoffe einsetzen. Noch günstiger ist es, einen Streifen Glasmatte oder -gewebe mit Klebstoff zu tränken und zwischen die Fügeteile zu legen. Werden geklebte Laminate der Bewitterung oder anderen stärkeren Beanspruchungen unterworfen, dann ist eine Gewebeschicht über die gesamte Klebstelle überzulaminieren. Solche Maßnahmen erhöhen beträchtlich die Dauerfestigkeitseigenschaften.

Beim Kleben von Laminaten mit andersartigen Werkstoffen sind unbedingt die Einsatzbedingungen und der Ausdehnungskoeffizient zu berücksichtigen. So ist z. B. für glasfaserverstärktes Epoxid- oder Polyesterharz mit Stahl ein elastifiziertes Epoxidharz wie *Epilox EG 34* mit *Härter 8* gut geeignet. Da die Viskosität der Harz-Härter-Mischung relativ hoch ist, soll nicht bei Temperaturen unter 20 °C gearbeitet werden.

6.5.7. Dimensionierung von Bauteilen

Dem Amateur wird es nur in den seltensten Fällen möglich sein, eine optimale Dimensionierung vorzunehmen, weil die erforderlichen Berechnungen zu kompliziert und vielfach die dazu notwendigen Angaben in dem Maße nicht bekannt sind. Einzelheiten können auf Wunsch in der Fachliteratur nachgelesen werden [2], [6], [8], [13], [18], [23], [24]. Unter Berücksichtigung der

Tabelle 6.11. Abhängigkeit mechanischer Eigenschaften bei Mattenlaminaten mit unterschiedlichem Harzgehalt

Laminatdicke in mm	Anzahl der Mattenlagen	Glasgehalt in %	Zugfestigkeit in N/mm²	Bruchkraft in N	Druckfestigkeit in N/mm²
1,0	1	31	105	1040	125
1,2	1	27	95	1060	115
1,4	1	23	80	1090	103
1,6	1	20	70	1120	88

Verhältnisse, die in Tabelle 6.6. bis Tabelle 6.9. angegeben sind, gelten die Angaben in Tabelle 6.11. für Mattenlaminate [20].
Die Angaben in Tabelle 6.11. beziehen sich auf eine 450 g/m²-Matte. Die Bruchkraft ist an einem 10 mm breiten Prüfstab ermittelt worden. Tabelle 6.12. gibt Auskunft über die Verhältnisse bei Geweben [20]. Die Prüfkörper wurden aus einem 163 g/m²-Gewebe hergestellt.
Im Gegensatz zu anderen Gebieten, z. B. beim Bootsbau, spielt die Dicke des Laminats in der Elektrotechnik nur eine untergeordnete Rolle, da die geforderten Festigkeitswerte in den mei-

Tabelle 6.12. Abhängigkeit mechanischer Eigenschaften bei Gewebelaminaten mit unterschiedlichem Harzgehalt

Laminatdicke in mm	Anzahl der Gewebelagen	Glasgehalt in %	Zugfestigkeit in N/mm²	Bruchkraft in N	Biegefestigkeit in N/mm²
1,2	10	68	390	4900	570
1,4	10	62	370	5300	545
1,6	10	57	350	5700	525
1,8	10	53	330	6200	500

sten Fällen erfüllt werden. Bei sehr hohen Beanspruchungen, wie sie in der Amateurtechnik nur selten vorkommen werden, kann ein Laminat, wie in Abschnitt 6.2. beschrieben, verwendet oder auch folgender Aufbau gewählt werden:

Gelcoatschicht,
Vlieseline,
Glasseidenmatte 450 g/m²,
Rovinggewebe 600 g/m²,
Glasseidenmatte 450 g/m²,
Gelcoatschicht.

Dieses Laminat hat je nach Harzauftrag eine Dicke von etwas über 4 mm. Die Verwendung von Vlieseline oder anderen Oberflächenmatten ist nicht unbedingt erforderlich. (s. Abschnitt 6.2.)

6.6. Formenbau in der Laminiertechnik

Im Gegensatz zur Gießtechnik werden in der Laminiertechnik in der Regel sehr große Formen benötigt. Die Anzahl der mit ihnen herzustellenden Laminate ist oft sehr gering. Als Werkstoffe für den Formenbau kommen darum weniger Metalle als vielmehr Holz, Plaste, Gips, Silicongummi u. ä. in Frage. Einfache Formen können z. B. aus Holz hergestellt werden, das mit einem Trennmittel oder mit einer Polyethylenfolie überzogen worden ist. Es sind vorzugsweise Harthölzer mit einem geringen Harzgehalt zu verwenden. Kleinere Laminate können mit einer Gipsform hergestellt werden. Dieses Material hat den Vorteil, daß man es bei Korrekturen leicht nachbearbeiten kann. Auch hier ist ähnlich wie beim Holz eine Versiegelung der Poren und die Anwendung eines Trennmittels erforderlich. Es ist zweckmäßig, dem Gips etwas Latex-Bindemittel zuzusetzen. Von den im Handel angebotenen Plastwerkstoffen eignen sich PVC, Polyethylen, Hartpapier, Hartgewebe und Sprelacart. Die Verwendung von Polystyren und Piacryl kann durch die Lösungsmittelempfindlichkeit nicht empfohlen werden. Beim Herstellen der Form ist darauf zu achten, daß keine Fugen oder scharfe Übergänge entstehen, da jede Unebenheit am Laminat sichtbar wird. Zur Bearbeitung der Plastwerkstoffe sei auf [21], [22] verwiesen. Aus mehreren Teilen hergestellte Formen werden geschraubt oder geklebt. Die Schlitze der Schrauben sind zu verspachteln.

6.7. Trennmittel

Bevor Harz in die fertig gebaute Form kommt, sind sämtliche konturenbildende Flächen mit einem Trennmittel einzureiben. Als Trennmittel sind in der Laminiertechnik *Exprotekt, Aero 46,* Bohnerwachs, Bienenwachslösungen und Polyvinylalkohol-Lösungen (Polyester-Trennmittel) gebräuchlich.
Poröse Werkstoffe wie Holz oder Gips vor dem Trennmittelauftrag versiegeln! Dazu sind übliche Lacke wie Alkydharz- oder PVAc-Latex-Lacke anzuwenden. Der Lack muß eine gute Haftung zum Formwerkstoff haben und darf vom Lösungsmittel des Trennmittels oder dem im Harz enthaltenen Zusätzen nicht aufgelöst werden. Für gerade Flächen reicht auch eine Auslegung bzw. Bespannung der Form mit Polyäthylen-, Cellophan-, Perfol- oder Weich-PVC-Folie aus. Weitere Hinweise können dem Heft „Gießen in der Amateurtechnik" entnommen werden.

6.8. Das Handauflegeverfahren

Für die Amateurtechnik kommt beim Laminieren nur das Handauflegeverfahren zur Anwendung. Das Prinzip beruht darauf, daß die einzelnen Schichten per Hand aufgetragen werden. Die Reihenfolge sieht dabei wie folgt aus:
Gelcoatschicht,
Vliesschicht oder Gewebe aus synthetischen Fasern,
Glasmatte(n) oder Glasgewebeschicht(en),
Vliesschicht oder Gewebe aus synthetischen Fasern,
Gelcoatschicht.
Bei dicken Laminaten sollten Gewebe und Matten abwechselnd aufgetragen werden [2], [8]. Nach dieser Methode stellt man glatte, gewölbte oder sphärisch geformte Teile her. Das Verfahren hat sich besonders zur Herstellung großer Werkstücke bewährt, die nur in kleinen Stückzahlen benötigt werden. Die so entstandenen Laminate haben formseitig eine glatte Harzoberfläche. Auftragsseitig ist durch Auflaminieren von Feingeweben oder -matten ebenfalls eine glatte Oberfläche zu erreichen. Der Nachteil des Verfahrens besteht darin, daß die Qualität des Fertigteils maßgeblich vom Geschick und der Fertigkeit des Verarbeiters beeinflußt wird. Weiterhin sind Unregelmäßigkeiten in der La-

minatstärke und im Harzauftrag nicht zu vermeiden, abgesehen von den Überlappungsstellen des Gewebes bzw. der Matten.

6.9. Die Herstellung von Laminaten mit einteiligen Formen

Wie bereits an anderen Stellen angedeutet, wird zunächst in die fertig vorbereitete Form eine Gelcoatschicht eingetragen. Die Schichtdicke kann hierbei im Normalfall zwischen 0,2 mm und 0,6 mm, in Sonderfällen bis über 1 mm betragen. Werden dicke Gelcoatschichten verlangt, so sind dafür elastische Harze zu verwenden, da sonst Risse entstehen können. Besser ist die Herstellung dünner Gelcoatschichten bis maximal 0,4 mm und die Verwendung von Oberflächenmatten oder feinen Geweben aus synthetischen Fasern. Dabei soll man die Oberflächenmatte dann auflegen, wenn die Gelcoatschicht geliert, aber noch nicht fest ist. Das nun aufzutragende Harz muß mit Pinsel aufgetupft oder mit Hilfe von Fell- oder Rillenwalzen verteilt werden. Dabei ist darauf zu achten, daß alle Luftblasen herausgedrückt werden. Sie sind leicht an den weißen Stellen zu erkennen. Wenn die Benetzung der Oberflächenmatte und die Verteilung des Harzes erfolgt ist, kann gleich die nächste Matte oder das nächste Gewebe

Tabelle 6.13. Durchschnittlicher Harzverbrauch bei gebräuchlichen Verstärkungsmitteln

Verstärkungsmaterial	Harzverbrauch in g/m²
Glasseidenmatte	
300 g/m²	900 ... 1500
400 g/m²	1200 ... 2000
450 g/m²	1350 ... 2250
Rovinggewebe	
400 g/m²	800 ... 1200
600 g/m²	1200 ... 1800
720 g/m²	1450 ... 2150
960 g/m²	1900 ... 2900
Twistgewebe	
163 g/m²	260 ... 400
220 g/m²	360 ... 550
350 g/m²	600 ... 850

aufgelegt werden, ohne die Härtung abzuwarten. Die Matte oder das Gewebe wird an die darunter befindliche Schicht leicht angedrückt (Faltenbildung vermeiden!). Bei sphärisch gewölbten Teilen ist das aber kaum möglich. Es bleibt dem Anwender dann nichts weiter übrig, als durch Einschneiden der Falten diese zu beseitigen. Die übrigen Arbeiten bleiben die gleichen. Beim Harzauftrag ist darauf zu achten, daß möglichst wenig verbraucht wird. Der in Tabelle 6.13. angegebene Harzverbrauch kann als Orientierung dienen. Der Harzverbrauch läßt sich durch extrem niedrige oder hohe Viskosität sowohl gering halten als auch erhöhen.

6.10. Entformung

Nachdem die letzte Schicht des Laminats aufgetragen worden ist, sollten kleinere Werkstücke etwa 24 Stunden und größere Teile mindestens 48 Stunden stehen und härten. Erst danach die Entformung vornehmen! Bei größeren Werkstücken werden gern zerlegbare Formen gewählt, die eine Entformung erleichtern. Stehen solche Werkzeuge bzw. Formen nicht zur Verfügung, muß mit dem Abheben des Laminats an einer günstigen Stelle begonnen werden. Besonders leicht geht das, wenn Folien als Trennmittel benutzt wurden. Sie lassen sich leicht nach dem Abheben des Laminats von diesem abziehen. Bei kleineren Werkstücken kann man auch großflächige Ausstoßer o. ä. einarbeiten.

6.11. Nachbearbeitung

Das entformte Laminat muß zunächst von Trennmittelresten gründlich gesäubert werden. Nacharbeiten beziehen sich hauptsächlich auf eine spanende Bearbeitung.
Der Werkzeugverschleiß beim Bearbeiten glasfaserverstärkter Plaste ist sehr hoch. Aus diesem Grund sollte man eine Nachbearbeitung möglichst vermeiden oder nur auf das Allernotwendigste beschränken. Wie bereits in [21], [22] beschrieben, werden glasfaserverstärkte Duroplaste mit Maschinen sehr hoher Drehzahl gebohrt. Der Spitzenwinkel der Wendelbohrer soll dabei etwa 150° betragen. Um ein Verlaufen des Bohrers zu vermeiden,

sind maschinengeschliffene Bohrer handgeschliffenen vorzuziehen. Das Ankörnen der Bohrstelle hat vorsichtig zu erfolgen.

Beim Feilen von glasfaserverstärkten Werkstücken sind grobe Metallfeilen mit dem Hieb 3 zu verwenden. Während der Arbeit muß die Feile oft gesäubert werden, um Verharzungen zu vermeiden.

Schwierigkeiten bereitet oft das Sägen von solchen Werkstücken. Am einfachsten ist die Trennung mit Kreissägen. Ist das nicht möglich, lassen sich auch Dekupiersägen oder gewöhnliche Metallsägen verwenden. Weitere Hinweise können der speziellen Literatur entnommen werden [2], [6], [8], [16], [21], [22].

7. Arbeitsschutz

Wie bereits an einigen Stellen kurz bemerkt wurde, ist es unumgänglich, bestimmte arbeitsschutztechnische Maßnahmen einzuhalten, wenn nicht gesundheitliche Schäden bei häufigerem Gebrauch bestimmter Agenzien auftreten sollen.

7.1. Lösungsmittel und lösungsmittelhaltige Klebstoffe

Hier sollen nicht nur Probleme beim Umgang mit Lösungsmitteln, sondern auch mit lösungsmittelhaltigen Klebstoffen, wie Kleblacken und -spachteln, behandelt werden. Laut ASAO 728 sind alle Lösungsmittel entsprechend ihrer gesundheitsschädigenden Wirkung in drei Gruppen eingeteilt:

Gruppe I sehr gesundheitsschädigend,
Gruppe II mittelmäßig gesundheitsschädigend,
Gruppe III wenig oder nicht gesundheitsschädigend.

Besonders wenn mit Lösungsmitteln oder lösungsmittelhaltigen Erzeugnissen der Gruppe I gearbeitet wird, ist für eine gute Belüftung des Raumes zu sorgen. Da bereits kleine Mengen schädigend auf verschiedene Organe oder Teile davon wirken können, sollen sie auch nicht mit der Haut in Berührung kommen. Zu der Kategorie gehören *PCD 13, PC 15.* Tetrachlorkohlenstoff, Trichlorethylen, Perchlorethylen, Benzen und andere chlorierte Kohlenwasserstoffe können, wenn sie mit einer Flamme oder mit einer glühenden Zigarette in Berührung kommen, giftige Gase entwickeln. Infolge unsachgemäßen Umgangs mit solchen Stoffen sind schon sehr schwere Unfälle entstanden.

Auch mit Lösungsmitteln und lösungsmittelhaltigen Produkten der Gefährdungsgruppe II ist vorsichtig umzugehen. Zu ihnen gehören Methylenchlorid, *Chemisol L 1503, Plastikfix, PCM 10* und *Mökoflex L 2837.*

Angenehmer ist das Arbeiten mit solchen Flüssigkeiten und Stoffen, die zur Gefährdungsgruppe III gehören wie *Epasin H 1243, H 1207, 572, Reinalit 50, PCM 10, PCA 20, Epasol-Kontakt, Chemisol L 1100, 1303, 1403,* Aceton, Ethylacetat.

Weiterhin sollte beim Arbeiten beachtet werden, daß fast alle Lösungsmittel sehr leicht brennbar sind und mit Luft explosive Gasgemische entstehen können. Weitere Hinweise enthält die angegebene Fachliteratur [8].

7.2. Epoxidharze und Härter

Sowohl Harze als auch Härter oder Gemische beider können zu starken Hautreizungen führen, so daß grundsätzlich jeder Kontakt mit der Haut zu vermeiden ist. Aber auch die Dämpfe können speziell auf den Schleimhäuten (Nase, Mund), den Augen aber auch auf der Haut Reizungen hervorrufen, die sich durch Rötung, Pickel und Blasenbildungen äußern. Aus diesem Grund ist eine gute Belüftung des Raumes, in dem gearbeitet wird, notwendig.
Da der *Härter 3* stark ätzend wirkt, ist nicht nur das Tragen von Handschuhen, sondern auch die Benutzung einer Schutzbrille erforderlich. Spritzer auf der Hand sind sofort mit viel Wasser abzuspülen. Die Verwendung einer Hautcreme ist empfehlenswert. Vorratsgefäße stets gut verschlossen halten! Die Hände sind mit Wasser und Seife und nicht mit Lösungsmitteln zu reinigen. Für Epoxidharze und Härter gilt das Prinzip der berührungslosen Technik. Weitere Informationen können der TGL 36 425 entnommen werden.

7.3. Polyester und Polyacrylate

Beim Arbeiten mit Polyester- und Acrylatharzen gelten ähnliche Bedingungen wie bei den Epoxidharzen.
Das im Polyester enthaltene Styrolen und die in den Acrylatharzen enthaltenen monomeren Bestandteile wirken schleimhautreizend und haben eine narkotische Wirkung auf das zentrale Nervensystem. Der Kobaltbeschleuniger wirkt auf der Haut sensibilisierend. Die Peroxide, und speziell das Cyclohexanonperoxid, haben eine irritative Wirkung, die bis zur Verätzung gehen kann; es können sich auch Ekzeme bilden. Besonders die Augen sind durch das Tragen einer Schutzbrille zu schützen. Verunreinigungen an den Händen werden mit viel Wasser und Seife abgewaschen.

8. Klebtabellen

In Tabelle 8.1. sind Klebstoffe und die mit ihnen klebbaren Werkstoffe aufgeführt. Neben diesen Klebstoffen eignen sich auch noch andere für den jeweiligen Anwendungsfall, so daß eine Auswahl in Tabelle 8.2. vorgestellt ist.
Die maximale Temperaturbeständigkeit einiger Klebstoffe wird in Tabelle 8.3. angegeben.
Geeignete Lösungsmittel sind in Tabelle 8.4. zusammengestellt. In den meisten Fällen können diese Lösungsmittel auch als Reinigungsmittel verwendet werden.

Tabelle 8.1. Werkstoffpaarungen

Metall — Metall	EK 10, EGK 19, Epasol EP 6, EP 11, EP 30
Metall — Holz	Epasol EP 11, EP 6, EP 30, Cenusil
Metall — Gummi	Chemisol L 1403, L 1503, Chemikal
Metall — Keramik	Epasol EP 6, EP 11, Cenusil
PVC-H — Metall	PCM 10, PCA 20, PC 15
PVC-W — Metall	Chemisol L 1403, PC 15, Cenusil
PVC — PVC	PCM 10, PCA 20
PVC-H — Piacryl	Kalloplast R, Chemisol L 1403, Cenusil
PVC-H — Polystyren	Kalloplast R
PVC-H — Polyester	PVM 10, Chemisol L 1403
PVC-H — Phenoplast	Kalloplast R, Chemisol L 1403, Cenusil
PVC-H — Celluloseacetat	Reinalit 50, Chemisol L 1503, Cenusil
Piacryl — Piacryl	Kalloplast R, Piaflex LT 30, Duosan
Piacryl — Polystyrolen	Kalloplast R
Piacryl — Polyester	Polyester G, Mökodur L 5001
Piacryl — Epoxidharz	Epasol EP 6, Epilox EGK 19
Piacryl — Celluloseacetat	Reinalit 50, Cenusil
Piacryl — Metall	Kalloplast R, Mökodur L 5001
Piacryl — Keramik	Kalloplast R, Mökodur L 5001
Polystyren — Polystyren	Plastikfix, Polystyrolklebstoff 572
Polystyren — Polyester	Kalloplast R, Polyester G
Polystyren — Phenoplaste	Kalloplast R, Polyester G, Chemikal, Chemisol L 1503

Polystyren — Celluloseacetat	Reinalit 50, Chemisol L 1503
Polyester — Polyester	Polyester G, Mökodur L 5001
Polyester — Celluloseacetat	Reinalit 50, Cenusil, Chemisol L 1503
Polyester — Metall	EGK 19 mit Härter 3, Polyester G
Polyester — Keramik	Mökodur L 5001, Cenusil
Polyester — Holz	Mökodur L 5001, Berliner Holzkaltleim
Phenoplast — Phenoplast	EK 10, EG 34 mit Härter 3, Epasol EP 11
Phenoplast — Metall	EK 10, Epasol EP 6, EP 11, EP 30
Phenoplast — Holz	Epasol EP 6, EP 11, EP 30
Celluloseacetat — Celluloseacetat	Reinalit 50, Chemisol L 1503
Keramik — Keramik	Epasol EP 6, Mökodur L 5001
Keramik — Holz	Epasol EP 6, Reinalit 50
Glas — Glas	EGK 19 mit Härter 3, EP 11, Cenusil
Holz — Holz	Berliner Holzkaltleim, Pelasal 136 G
Holz — Gummi	Chemisol L 1100, L 1303
Holz — Filz	Berliner Holzkaltleim, Fußbodenklebstoff Blausiegel

Tabelle 8.2. Für Plastwerkstoffe geeignete Klebstoffe

PVC-H
PC-Klebstoffe, Kalloplast R, Chemisol L 1403, Cenusil

PVC-W
Chemisol L 1403, PC 15, PCA 20, Piaflex LT 30, Cenusil

Piaeryl
Piaflex LT 30, Kalloplast R, Duosan-Rapid, Mökofix L 4001, Chemisol L 1503, EGK 19 mit Härter 3, Polyester G, Mökodur L 5001, Cenusil

Polystyren
Polystyrenklebstoff 572, Plastikfix, Kalloplast R

Celluloseacetat
Chemisol L 1503, Reinalit 50, Cenusil

Polyester
Mökodur L 5001, Polyester G, Epasol EP 11, EGK 19 mit Härter 3, Chemisol L 1403

Epoxidharze
EGK 19 mit Härter 3, Epasol EP 11, Chemisol L 1403

Pheno- und Aminoplaste
EG 34 mit Härter 3, EGK 19 mit Härter 3, EK 10, Epasol EP 11, Duosan-Rapid, Emofix, Chemisol L 1403, Cenusil

Schaumstoffe
Berliner Holzkaltleim, Mökodur L 5001

Tabelle 8.3. Einsatztemperatur einiger Klebstoffe

Epilox EGK 19 mit Härter 3	—40 ... +70 °C
Epilox EG 34 mit Härter 3	—40 ... +90 °C
Epilox EK 10	—50 ... +180 °C
Epasol EP 6	—40 ... +70 °C
Epasol EP 11	—40 ... +70 °C
Mökodur L 5001	—30 ... +70 °C
Kalloplast R	—40 ... +70 °C
Mökoflex L 2837	—20 ... +60 °C
Reinalit 50	—20 ... +40 °C
Piaflex LT 30	—40 ... +60 °C
Plastikfix	—20 ... +60 °C
Chemisol L 1503	—30 ... +50 °C
Chemisol L 1403	—30 ... +50 °C
PCA 20	—20 ... +40 °C
Cenusil	—50 ... +150 °C

Tabelle 8.4. Lösungs- und Reinigungsmittel für Klebstoffe

Klebgrundstoff	Klebstoff	geeignetes Lösungsmittel
Polyvinyl-acetat	Berliner Holzkaltleim Brauns PVAc-Leim Pelasal 136 G L 58 S	Wasser
	Reinalit 50	Aceton
	Asolofix	Ethylacetat
Polyvinyl-chlorid	PCM 10 PCM 13 PCM 15	Methylenchlorid
	PCA 20	Aceton
	PCD 13	Dichlorethan
	PC 15	Dichlorethan, Aceton
Cellulosenitrat	Kittifix	Aceton
	Mökol	Aceton
	Duosan	Aceton, Ethylacetat
	Emofix	Ethylacetat
Kautschuk	Chemisol L 1100	je 1 MT Aceton + Benzin
	Chemisol L 1300	Trichlorethylen, Methylenchlorid
	Chemisol L 1403	Ethylacetat
	Chemikal-Klebstoff	Ethylacetat
	Chemisol L 1503	Ethylacetat
	Epasol-Kontakt	Ethylacetat, Butylacetat
Polystyren	Epasin 572 Plastikfix	Ethylacetat, Aceton
Sulfitablaufe	Fußbodenklebstoff „Blausiegel“	Wasser

Literaturverzeichnis

[1] *Dimter, L.:* Klebstoffe für Plaste; VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1969

[2] *Schwarz, H.; Schlegel, H.:* Metallkleben und glasfaserverstärkte Plaste in der Technik; VEB Verlag Technik, Berlin 1977

[3] *Matting, A.:* Metallkleben; Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 1969

[4] *Michel, M.:* Adhäsion und Klebtechnik; Carl Hanser Verlag, München 1969

[5] *Harper, Ch.:* Gießharze in der elektronischen Technik; Carl Hanser Verlag, München 1963

[6] *Wende, A.; Moebes, W.; Marten, H.:* Glasfaserverstärkte Plaste; VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1969

[7] *Brockmann, W.:* Grundlagen und Stand der Metallklebtechnik; VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1971

[8] *Ludeck, W.:* Handbuch der Kleb-, Gieß- und Laminiertechnik; VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1979

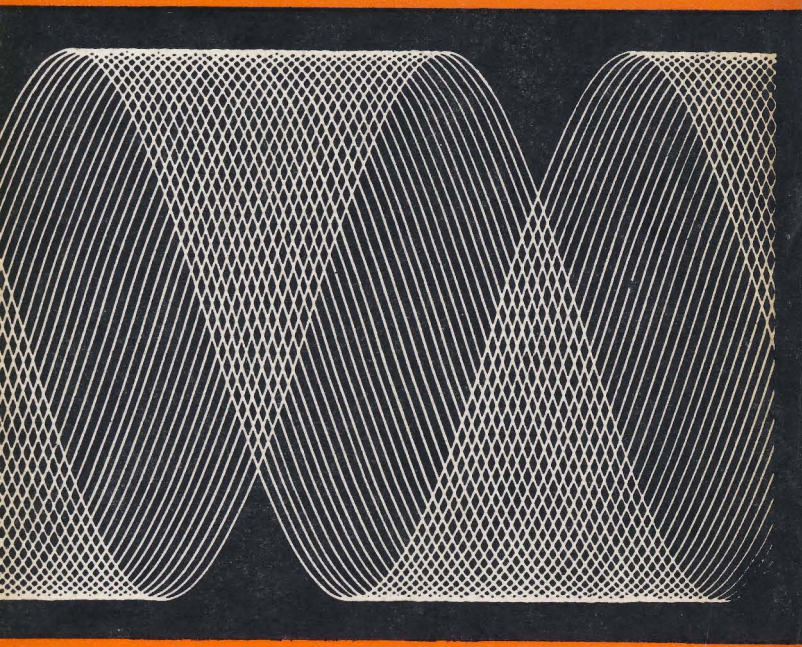
[9] *Kaliske, G.:* Ein Beitrag zum Entfetten metallischer Fügeteile mit Hilfe von organischen Lösungsmitteln; IfL-Mitteilungen 6 (1967) 9, S. 347 bis 352

[10] Klebstofftabelle des VEB Chemiehandels

[11] *Semerdjiew, St.: Panov, P.;* Über das Kleben von Metallteilen mit unreinen Oberflächen; Manuskriptdrucke zur Fachtagung Kleb- und Gießharztechnik am 16. und 17. Oktober 1969 in Halle, S. 151 bis 156

[12] *Kaliske, G.; Ludeck, W.:* Überprüfung der Eignung des Klebstoffs Epasol FV/ZIS 939 für Anwendungen in der Elektrotechnik/Elektronik, der Elektro-Praktiker 33 (1979) 8, S. 284 bis 287

[13] Autorenkollektiv: Leichtbaukatalog des Instituts für Leichtbau

[14] *Wonneberger, D.:* Klebung von Halterungen aus Stahl für abgehängte Decken und andere Einrichtungen; Richt-

linien des Instituts für Baustoffe, Abteilung Kunststoffe, Leipzig
[15] Autorenkollektiv: Technische Formeln; VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1962
[16] *Schaaf, W.; Hahnemann, A.:* Verarbeitung von Plasten; VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1970
[17] *Harper, Ch.:* Gießharze in der elektronischen Technik; Carl Hanser Verlag, München 1963
[18] *Hintersdorf, G., Bernet, J.:* Glasfaserverstärkte Plaste
[19] Firmenschrift der Union Carbide: Silan-Haftvermittler, Einsatzgebiete und Anwendungsmethoden
[20] *Menges, G.; Kelleuter, M.:* Geringer Glasgehalt bringt Vorteile; Kunststoff-Rundschau, (1970) 9, S. 457 bis 465, 10 S. 529 bis 534
[21] *Schreyer:* Konstruieren mit Kunststoffen; Carl Hanser Verlag, München 1972
[22] *Ludeck, W.:* Kleben in der Amateurtechnik; Militärverlag der DDR, Berlin 1976
[23] Autorenkollektiv: Konstruktiver Plasteinsatz; VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1977
[24] *Skudra, A. M., Bulavs, F. J., Rocens, K. A.:* Kriechen und Zeitstandverhalten verstärkter Plaste; VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1975